

CONFORTO TÉRMICO DO ESPAÇO PÚBLICO. CASO DE ESTUDO.

MÁRIO RENATO MOREIRA SOARES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JUNHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus,
pelo que representam

AGRADECIMENTOS

Pelos relevantes contributos à presente dissertação, o autor deseja manifestar o seu agradecimento.

À Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho, por todo o apoio prestado no decorrer desta dissertação, pelas orientações cruciais na definição dos diferentes caminhos, pelo conhecimento e experiência transmitidos e pela ininterrupta disponibilidade demonstrada.

Ao Engenheiro Norberto Castro, à Engenheira Ana Moura e ao Geógrafo Carlos Rodrigues, técnicos da Câmara Municipal de Arouca, pelo apoio e compreensão.

À Carlota, pelo suporte e compreensão.

À minha família e aos meus amigos, pelo suporte, amizade e compreensão.

RESUMO

O clima urbano resulta de alterações no clima local por meio de condições particulares do ambiente, nomeadamente a rugosidade do tecido urbano, os níveis de ocupação e as características térmicas dos materiais constituintes. Estas alterações podem condicionar o conforto térmico dos espaços públicos e, consequentemente, pôr em causa o bem-estar das populações urbanas, tendo em conta a interação social que ocorre nestes espaços, numa perspectiva de lazer e descanso.

O conforto térmico nos espaços públicos, em geral, é fundamental para que os mesmos sejam frequentados e para que continuem a desempenhar o seu papel privilegiado na melhoria da qualidade de vida das pessoas.

Neste contexto, são crescentes os espaços que não cumprem os requisitos mínimos e, sabendo que esta problemática tenderá a agravar-se devido às alterações climáticas, estes espaços tenderão a tornar-se desconfortáveis ou até mesmo amorfos. Assim, na tentativa de fazer crescer o conforto térmico nos locais de utilização pública, têm sido, nas últimas duas décadas, criados e estudados mecanismos e estratégias de minimização do impacto térmico em espaços demasiadamente expostos à incidência solar, nomeadamente estruturas que disponibilizam sombra, como arborização, introdução de espaços verdes, alteração dos pavimentos, implementação de elementos de água, estruturação da malha urbana, entre outras. Importa ainda referir, que para fazer face a esta realidade, as áreas urbanas consolidadas exigem especial atenção, visto que nestas áreas o ambiente construído já se encontra definido.

Na presente dissertação, através de um software de elevada capacidade testado e verificado em estudos anteriores (Envi-met), são avaliadas variações paramétricas, com o intuito de constatar em que medida se tornam influentes para o microclima dos espaços públicos e, consequentemente, para as variáveis ambientais que afetam a sensação de conforto térmico. As simulações testam a influência da vegetação, do revestimento dos pavimentos e fachadas e, também, a volumetria do ambiente construído, onde é selecionado um cenário de estudo, que permita verificar a influência dos parâmetros variados e estabelecer uma relação entre eles, no que diz respeito ao conforto térmico.

Embora os resultados do estudo sejam apenas indicativos e não generalizados, já que se direcionam para um caso de estudo específico, contribuem para alargar o conhecimento dos padrões abordados.

PALAVRAS-CHAVE: clima urbano, conforto térmico, espaço público, variáveis de conforto térmico, análises paramétricas.

ABSTRACT

The urban climate results from changes in the local climate through particular conditions, such as the roughness of the urban fabric, occupancy levels and thermal characteristics of the composing materials. These changes can condition the thermal comfort of public spaces and therefore compromise the well-being of the urban populations, taking into account the social interaction that occurs in these spaces, in a perspective of leisure and rest.

The thermal comfort in public spaces is, in general, essential for them to be frequented and for them to continue playing a privileged role in improving people's quality of life.

In this context, with an increasing number of spaces that do not meet the minimum requirements and knowing that this problem only tends to get worse due to climate changes, these spaces are likely to become uncomfortable or even amorphous. Therefore, in the last two decades, in an attempt to increase thermal comfort in public spaces, mechanisms and strategies have been created and studied in order to minimize thermal impact in areas that are too exposed to sunlight, particularly structures that provide shade, such as afforestation, introduction of green spaces, alteration of pavements, implementation of water elements, urban mesh structure, among others. It is also important to note that in order to face this reality, the consolidated urban areas require special attention, once in these areas the built environment is already defined.

In this dissertation, parametric variations are evaluated through a tested and verified high capacity software (Envimet), in order to verify to what extent they become influential to the microclimate of public spaces and, consequently for the environmental variables that affect the sensation of thermal comfort. The simulations test the influence of vegetation, coating of pavements and façades, as well as the volumetry of the built environment, where a study scenario is selected to verify the influence of the varied parameters and correlate them as far as thermal comfort is concerned.

Nevertheless, although the study results are merely indicative and not generalized, since they are directed to a specific case study, they contribute to broaden the knowledge of the standards discussed.

KEY-WORDS: urban climate, thermal comfort, public space, thermal comfort variables, parametric analysis.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
 1 INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	3
 2 CLIMA URBANO	 5
2.1. INTRODUÇÃO.....	5
2.2. ESCALAS DO CLIMA.....	5
2.3. FATORES CLIMÁTICOS	7
2.3.1. FATORES CLIMÁTICOS GLOBAIS.....	7
2.3.1.1. Latitude, Longitude e Altura	7
2.3.1.2. Radiação solar	9
2.3.1.3. Vento	11
2.3.1.4. Massas de água e terra.....	12
2.3.2. FATORES CLIMÁTICOS LOCAIS.....	13
2.3.2.1. Topografia	13
2.3.2.2. Vegetação	13
2.3.2.3. Superfície do solo.....	14
2.4. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	15
 3 CONFORTO TÉRMICO	 17
3.1. INTRODUÇÃO	17
3.2. CONFORTO TÉRMICO	17
3.3. EQUILÍBRIO TÉRMICO ENTRE O HOMEM E O AMBIENTE.....	18
3.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	18
3.3.2. TRANSFERÊNCIA DE CALOR ENTRE O HOMEM E O AMBIENTE.....	18
3.3.3. RADIAÇÃO	19
3.3.4. CONDUÇÃO	19

3.3.5. CONVECÇÃO.....	20
3.3.6. EVAPORAÇÃO.....	20
3.4. FATORES QUE INFLUENCIAM A SENSÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO	20
3.4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	20
3.4.2. VARIÁVEIS INDIVIDUAIS.....	21
3.4.3. VARIÁVEIS AMBIENTAIS	22
3.5. A IMPORTÂNCIA DO CONFORTO TÉRMICO NOS ESPAÇOS PÚBLICOS.....	25

4 ESPAÇOS PÚBLICOS27

4.1. INTRODUÇÃO	27
4.2. ENQUADRAMENTO	27
4.3. O MICROCLIMA DOS CENTROS URBANOS	28
4.4. ELEMENTOS DE INTERVENÇÃO.....	29
4.4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	29
4.4.2. ORIENTAÇÃO	29
4.4.3. RELAÇÃO ALTURA/LARGURA	30
4.4.4. CORES	31
4.4.5. FUNÇÃO / TIPOLOGIA	31
4.4.6. MATERIAIS.....	31
4.4.6.1. Considerações gerais.....	31
4.4.6.2. Permeabilidade à água	32
4.4.6.3. Emissividade	32
4.4.6.4. Reflectância / albedo.....	33
4.4.7. VEGETAÇÃO	33
4.4.7.1. Considerações gerais.....	33
4.4.7.2. Sombreamento.....	35
4.4.7.3. Evapotranspiração	35
4.4.8. ELEMENTOS ARQUITETÓNICOS	35
4.4.9. REVESTIMENTO DE SUPERFÍCIES OU TIPO DE PAVIMENTOS	36
4.4.10. ELEMENTOS DE ÁGUA.....	36
4.4.11. DISPOSITIVOS DE SOMBRA DE ESPAÇOS PÚBLICOS.....	36
4.5. DESIGN URBANO BIOCLIMÁTICO.....	37
4.6. OBSERVAÇÕES FINAIS	37

5 CASO DE ESTUDO	39
5.1. INTRODUÇÃO	39
5.2. APRESENTAÇÃO DO LOCAL	39
5.2.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO	42
5.2.1.1. Local 1 - Alameda Dom Domingos de Pinho Brandão	42
5.2.1.2. Local 2 - Praça das Laranjeiras	42
5.2.1.3. Local 3 - Praça Brandão de Vasconcelos	43
5.3. APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA UTILIZADO.....	43
5.3.1. DESCRIÇÃO GERAL DO PROGRAMA.....	44
5.3.2. DIFICULDADES E RESTRIÇÕES DO PROGRAMA.....	45
5.3.3. CRIAÇÃO DO CENÁRIO A ESTUDAR.....	46
5.4. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS PARA A ANÁLISE DOS RESULTADOS	50
 6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	 53
6.1. INTRODUÇÃO	53
6.2. SIMULAÇÕES REALIZADAS	53
6.2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	53
6.2.2. ANÁLISE E DISCUSSÃO	54
6.2.2.1. Alameda Dom Domingos de Pinho Brandão	54
6.2.2.2. Influência do material de revestimento do piso.....	54
6.2.2.3. Influência dos materiais de revestimento das fachadas	56
6.2.2.4. Influência da vegetação	60
6.2.2.5. Influência da volumetria dos edifícios	62
6.2.3. PRAÇA DAS LARANJEIRAS.....	64
6.2.3.1. Influência do material de revestimento dos pavimentos	64
6.2.3.2. Influência do revestimento das fachadas.....	66
6.2.3.3. Influência da vegetação	68
6.2.3.4. Influência da volumetria dos edifícios	69
6.2.4. PRAÇA BRANDÃO DE VASCONCELOS.....	72
6.2.4.1. Influência dos materiais de revestimento dos pavimentos	72
6.2.4.2. Influência do material de revestimento das fachadas	75
6.2.4.3. Influência da vegetação	77
6.2.4.4. Influência da volumetria dos edifícios	79

6.2.4.5. Variação da direção do vento	79
6.2.4.6. Estudo da influência da estação do ano	81
6.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
 7 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	 85
7.1. CONCLUSÕES GERAIS	85
7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXO A1 – ROSA DOS VENTOS – AROUCA	A1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Escalas urbanas: (a) área metropolitana, (b) cidade, (c) bairro, (d) quarteirão, e (e) rua. Fonte: Oliveira Panão, et al, (2006).	6
Figura 2.2 - Camadas da atmosfera urbana: atmosfera urbana superior (UBL) e atmosfera urbana inferior (UCL). Fonte: Oliveira Panão, et al, (2006).	6
Figura 2.3 - Ilustração didática da Latitude e Longitude. Fonte: http://escolakids.uol.com.br/latitudes-e-longitudes.htm	8
Figura 2.4 - A incidência da radiação solar em relação à variação da latitude. (Adaptado de Romero, 2013).	8
Figura 2.5 - Composição da radiação solar. Percentagem de ondas eletromagnéticas de diferentes comprimentos de onda. Adaptado Romero (2013).	9
Figura 2.6 - Fenómeno de absorção e reflexão da radiação solar na Terra. (Adaptado de Romero, 2013)	10
Figura 2.7 - Percurso do sol ao longo do ano. Fonte: (Gonçalves, Graça, 2004).	10
Figura 2.8 - Esfera Terrestre. Fonte: https://www.colegioweb.com.br/geografia/localizacao-nos-hemisferios.html	12
Figura 2.9 - Esquema representativo da influência da topografia no microclima. (Fonte: Romero, 2013).	13
Figura 2.10 - Efeito regulador da vegetação nas radiações de grande comprimento de onda. (Adaptado de Romero, 2013).	14
Figura 2.11 – Esquema representativo das perdas de calor noturno dos materiais utilizados na construção. (Adaptado de Romero, 2013).	14
Figura 3.1 - Transferência de calor entre o Homem e o ambiente. (Adaptado de Romero, 2013).	19
Figura 3.2 – Possíveis formas de transferência de calor entre o Homem e o ambiente. (Fonte: slides teóricos da disciplina de térmica dos edifícios, 5ºano do MIEC).	22
Figura 4.1 – Esquema representativo do fenómeno “ilha de calor”. Fonte: Romero (2013).	28
Figura 4.2 – Exemplo de uma relação H/L elevada (rua estreita). “Rua Mourisca” localizada no centro da vila de Arouca.	30
Figura 4.3 – Efeito refrescante provocado pela vegetação. Fonte: Romero (2013).	35
Figura 5.1 – Localização geográfica do local de estudo no mapa de Portugal Continental. (Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Arouca)	40
Figura 5.2 – Vista aérea do local de estudo selecionado e identificação dos espaços públicos de permanência.	41
Figura 5.3 – Identificação do local 1 – “Alameda Dom Domingos de Pinho Brandão”.	42
Figura 5.4 – Identificação do local 2 – “Praça das Laranjeiras”.	42
Figura 5.5 – Identificação do local 3 – “Praça Brandão de Vasconcelos”.	43
Figura 5.6 – ícone do programa utilizado como ferramenta de estudo na dissertação.	44
Figura 5.7 – Barra de Ferramentas do Envi-met 4 Headquarter – separador “Data and Settings”.	44
Figura 5.8 - Barra de Ferramentas do Envi-met 4 Headquarter – separador “Envi-met V4”.	45

Figura 5.9 – Representação “2D” da criação do cenário a simular.	46
Figura 5.10 – Representação “3D” do cenário de estudo criado no separador “Spaces” do programa Envi-met.	47
figura 5.11- Resultado representativo do cenário criado na Figura 5.10.....	48
Figura 5.12 - Representação “3D” do local de estudo 1 – “Alameda Dom Domingos de Pinho Brandão”.	48
Figura 5.13 - Representação “3D” do local de estudo 2 – “Praça das Laranjeiras”.	49
Figura 5.14 - Representação “3D” do local de estudo 3 – “Praça Brandão de Vasconcelos”.	49
Figura 5.15 – Rosa dos ventos de Arouca para o período de 2014 a 2016. Fonte: IPMA.	51
Figura 5.16 – Radiação Global correspondente à área metropolitana do Porto. Fonte: IPMA -Portal do Clima.	51
Figura 5.17 – Temperatura média correspondente à área metropolitana do Porto. Fonte: IPMA - Portal do Clima.	52
Figura 5.18 – Humidade relativa do ar correspondente à área metropolitana do Porto. Fonte: IPMA - Portal do Clima.....	52
Figura 6.1 – Resultados da Ta (Temperatura do ar) para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 2”.....	55
Figura 6.2 -Resultados da TMR (Temperatura média radiante) para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 2”.	55
Figura 6.3– Resultados da HR (Humidade Relativa) para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 2”.	56
Figura 6.4 - Resultados da Ta para os cenários “Alameda 1”, “Alameda 3” e “Alameda 4”.	57
Figura 6.5 - Resultados da TMR para os cenários “Alameda1”, “Alameda 3” e “Alameda 4”.	58
Figura 6.6 - Resultados da Radiação solar refletida para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 3”.	58
Figura 6.7 - Representação do local onde foi retirado o asfalto.....	59
Figura 6.8 - Resultados da TMR do cenário “Alameda 1” e do mesmo cenário com remoção de pavimento.	60
Figura 6.9 – Resultados da Radiação solar direta para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 5”.	60
Figura 6.10 – Resultados da Ta para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 5”.	61
Figura 6.11- Resultados da TMR para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 5”.....	61
Figura 6.12 - Resultados da velocidade do vento para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 5”.....	62
Figura 6.13 - Resultados da HR (Humidade Relativa) para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 5”.....	62
Figura 6.14 – Resultados da TMR para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 6”.....	63
Figura 6.15 - Resultados da TA para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 6”.	63
Figura 6.16 – Resultados da velocidade do vento para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 6”.	64
Figura 6.17 – Resultados da Ta para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 2”.....	65
Figura 6.18 – Resultados da TMR para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. das Laranjeiras 2”.	66
Figura 6.19 – Resultados da Ta dos cenários “P. Laranjeiras 1”, “P. Laranjeiras 3” e “P. Laranjeiras 4”.	67
Figura 6.20 – Resultados da TMR dos cenários “P. Laranjeiras1”, “P. Laranjeiras 3” e “P. Laranjeiras 4”.....	67
Figura 6.21 – Resultados da radiação solar direta para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 5”.	68
Figura 6.22 – Resultados da Ta dos cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 5”.....	68

Figura 6.23 – Resultado da TMR dos cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 5”.	69
Figura 6.24 – Resultado da velocidade do vento dos cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 5”.	69
Figura 6.25 – Resultado da radiação solar direta para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 6”.	70
Figura 6.26 – Resultado da Ta para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 6”.	70
Figura 6.27- Resultado da radiação solar direta para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 6” correspondentes às 9 horas.	71
Figura 6.28 - Resultado da TA para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 6” correspondentes às 9 horas.	71
Figura 6.29 – Resultados da velocidade do vento para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 6”.	72
Figura 6.30 – Identificação dos locais onde ocorreu alteração de revestimento do piso.	73
Figura 6.31 – Resultados da Ta dos cenários “Praça 1” e “Praça 2”.	73
Figura 6.32 – Resultados da TMR dos cenários “Praça 1” e “Praça 2”.	74
Figura 6.33 – Resultados do vento dos cenários “Praça 1” e “Praça 2”.	74
Figura 6.34 – Resultados da Ta dos cenários “Praça 1”, “Praça 3” e “Praça 4”.	76
Figura 6.35 – Resultado da TMR dos cenários “Praça 1”, “Praça 3” e “Praça 4”.	76
Figura 6.36 – Resultados da Radiação Solar Direta para os cenários “Praça 1” e “Praça 5”.	77
Figura 6.37 – Resultados da Temperatura do ar para os cenários “Praça 1” e “Praça 5”.	78
Figura 6.38 – Resultados da velocidade do vento para os cenários “Praça 1” e “Praça 5”.	78
Figura 6.39 – Indicação da direção do vento considerada.	78
Figura 6.40 – Resultados da Temperatura do ar para os cenários “Praça 1” e “Praça 6”.	79
Figura 6.41 – Resultados da velocidade do vento para os cenários “Praça 1” e “Praça 6”.	79
Figura 6.42 – Resultados da velocidade do vento para as diferentes direções consideradas.	80
Figura 6.43 – Resultados da temperatura do ar para as diferentes direções consideradas.	81
Figura 6.44 – Resultados da Ta para a estação de inverno.	82
Figura 6.45 – Resultados da Ta para a estação de verão.	82

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Fatores globais e locais que determinam o clima	7
Quadro 3.1 – Limites de conforto térmico. (Adaptado de Ferreira, 2013).	23
Quadro 3.2 - Elaboração própria com base nos autores: Tojo (2007), Nikolopoulou (2004) e Lamberts e Xavier (2002).	23
Quadro 3.3 - Elaboração própria com base na informação do IPMA.	24
Quadro 6.1 - Identificação dos cenários de estudo para o local 1.	54
Quadro 6.2 - Dados correspondentes aos cenários “Alameda 1” e “Alameda 2”.	54
Quadro 6.3 - Dados relativos aos revestimentos de fachadas, obtidos no “DB Manager” do programa “Envi-met”.	56
Quadro 6.4 - Identificação dos cenários de estudo para o local 2.	64
Quadro 6.5 - Dados correspondentes aos cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 2”.	65
Quadro 6.6 - Dados relativos aos revestimentos de fachadas, obtidos no “DB Manager” do programa “Envi-met”.	66
Quadro 6.7 - Identificação dos cenários de estudo para o local 3	72
Quadro 6.8 - Dados correspondentes aos cenários “Praça 1” e “Praça 2”.	72
Quadro 6.9 - Dados relativos aos revestimentos de fachadas obtidos no “DB Manager” do programa “Envi-met”.	75

SIGLAS E ABREVIATURAS

2D – Duas dimensões

3D – Três dimensões

H – Altura

L - Largura

Ta - Temperatura do ar [°C]

HR – Humidade Relativa [%]

TMR – Temperatura Média Radiante [°C]

V – Velocidade do vento [m/s]

EMA – Estação Meteorológica Automática

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

MIEC – Mestrado Integrado em Engenharia Civil

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

As alterações climáticas, e consequentes efeitos, são uma realidade cada vez mais presente e inevitável, já que representam mudanças que afetam os elementos associados ao clima, quer numa escala global quer local (Alexandri, 2005).

Os impactos e consequências associados às alterações climáticas são inúmeros, sendo crucial (por exemplo) a manifestação de temperaturas extremas, que exige especial preocupação, dado que, este fenómeno, conjugado com o fenómeno das “ilhas de calor” característico das áreas urbanas, terá efeitos graves nas condições térmicas das respetivas áreas, pondo em causa o seu conforto térmico. Neste contexto, o ambiente envolvente também será posto em causa, pois as condições oferecidas pelo mesmo, não serão suficientemente fortes para manterem o conforto térmico nos diferentes espaços públicos, que constituem as áreas urbanas.

O conforto térmico há muito que tem vindo a ser alvo de preocupação e estudo no interior das edificações. No entanto, os espaços públicos são locais de permanência que assumem um papel muito importante na vida social humana e, por isso, devem também ser tidos em conta quer no planeamento de espaços públicos futuros, quer na reestruturação de espaços públicos já existentes em áreas urbanas compactas, de modo a evitar o crescimento urbano não planeado e atenuar os efeitos negativos resultantes das alterações climáticas.

Posto isto, é imprescindível garantir condições climáticas que proporcionem aos eventuais utilizadores dos espaços públicos a sensação de bem-estar e conforto térmico, para que estes espaços possam ser ocupados e não se transformem em locais amorfos. Assim, partindo do pressuposto de que "os materiais, a geometria e as propriedades superficiais das estruturas em torno de um determinado lugar modificam o clima e o ambiente local" (Givoni, 1998), tornar-se-á importante perceber em que medida tais fatores são determinantes. Para além destes fatores, o clima de um determinado local também é determinado por outros elementos morfológicos (como a orientação, a relação altura/largura entre edificações, a presença de elementos hídricos, elementos de sombreamento, entre outros) e por fatores climáticos (como a topografia, radiação solar, a altitude, a latitude, os ventos dominantes, entre outros), que serão alvo de análise neste estudo. No entanto, é importante ter presente que os elementos e fatores referidos, atuam em conjunto, sendo que cada um deles é o resultado da conjugação dos demais (Romero, 2013). Assim sendo, da combinação destes, não devem resultar condições adversas que comprometam a permanência ou visita a determinados espaços nas áreas urbanas, realçando-se, aqui, o conceito de conforto térmico.

Infere-se então, que a adaptação do ambiente construído face a possíveis alterações das condições climatéricas, assume o principal desafio desta problemática, especialmente em áreas urbanas compactas, uma vez que nestes locais o ambiente já está definido e as possibilidades de intervenção são reduzidas. Surge então, a necessidade de estudar a influência do ambiente envolvente na noção de conforto térmico dos espaços exteriores, com o intuito de enriquecer o conhecimento neste sentido, pelo que, é utilizado um programa de simulação tridimensional (Envi-met), na análise da variação de parâmetros do ambiente construído e verificação das suas implicações nas principais variáveis climáticas, que condicionam o conforto térmico humano.

1.2. OBJETIVOS

Na presente dissertação, de forma a sintetizar o desenvolvimento do estudo efetuado, estabelecem-se como principais objetivos:

- Elaborar um enquadramento e estabelecer um ponto de partida com base em todos os estudos realizados até ao momento;
- Perceber/estudar o conceito de “Clima Urbano” e a importância do conforto térmico nos espaços públicos, bem como todos os parâmetros e fatores envolvidos;
- Perceber/estudar de que forma o ambiente construído influencia o conforto térmico dos espaços públicos (rugosidade da malha urbana, orientação, espaçamento, exposição solar, materiais constituintes de fachadas, etc.);
- Realizar simulações, com base em cenários urbanos reais usados como casos de estudo, com variação de parâmetros que permitam obter e sustentar conclusões, através do software “Envi-met”;
- Apresentar soluções que permitam melhorar o conforto térmico dos espaços públicos analisados e estabelecer práticas orientadoras gerais, a utilizar no planeamento futuro;
- Contribuir para o conhecimento sobre a adaptação do ambiente construído, tendo em conta a fulcral manifestação de temperaturas extremas provocadas pelas alterações climáticas.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos.

O Capítulo 1 corresponde à introdução, onde é efetuada uma breve contextualização da problemática a estudar e, também, onde são definidos os objetivos a atingir.

No Capítulo 2 é abordado o conceito “Clima Urbano”, a correspondência da sua escala, os fatores e elementos que o definem, assim como a influência que as alterações climáticas têm sobre o mesmo.

No Capítulo 3 é abordado o conforto térmico exterior e em que medida é determinante para o bem-estar das pessoas. É realçada a importância destes espaços nos centros urbanos e uma breve descrição de outros indicadores que juntamente com o conforto térmico, determinam o sucesso dos espaços públicos.

Relativamente ao Capítulo 4 refere-se em que medida os espaços públicos, os seus elementos e as suas características se relacionam com o clima dos centros urbanos e em que medida têm influência sobre estes.

Após uma análise teórica dos conceitos relacionados com a presente dissertação, no Capítulo 5 é apresentado e justificado o local de estudo selecionado e realizada uma breve apresentação do programa utilizado, fazendo referência à experiência obtida no manuseamento do mesmo. Neste capítulo é apresentado e justificado o procedimento e considerações optadas para a obtenção de resultados.

Posteriormente, no Capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos e, à medida que vão sendo interpretados, é realizada uma relação teórica de forma a enunciar algumas constatações.

Por fim, no Capítulo 7 são tecidas algumas apreciações sobre todo o estudo elaborado, quais os objetivos superados e dificuldades encontradas, e são apresentadas soluções que permitam contribuir para o conhecimento da problemática em estudo.

Em anexo apresenta-se informação adicional que complementa o trabalho desenvolvido.

2

CLIMA URBANO

2.1. INTRODUÇÃO

Numa perspetiva de contextualizar o estudo da presente dissertação, é importante analisar os conceitos relacionados com o clima e desmitificar quais os fatores determinantes para caracterizar o clima de um determinado local. Para tal, deve-se começar por compreender a escala associada ao clima e as trocas de energia que se estabelecem dentro do sistema Terra-Atmosfera.

As alterações climáticas e os prováveis impactos das mesmas em áreas urbanas são, também, abordados, uma vez que, enfrentar os desafios climáticos atuais, requer perceber como os climas urbanos operam no presente e provavelmente irão operar no futuro.

Desta forma, pretende-se que os temas abordados neste capítulo sirvam como base de referência para o restante estudo efetuado sempre com vista a garantia da qualidade de vida num contexto urbano.

2.2. ESCALAS DO CLIMA

O Clima Urbano de uma cidade está intimamente associado às características do espaço urbano (Oliveira Panão, et al., 2006), ou seja, a rugosidade do tecido urbano, os níveis de ocupação e as características térmicas dos materiais constituintes são alguns dos parâmetros que influenciam e caracterizam o clima de uma determinada localidade. Posto isto, face ao ambiente construído, é expectável que as condições climáticas de uma área urbana sejam distintas das condições climáticas das áreas rurais adjacentes.

Segundo Allard e Alvarez (1998), referenciado por Oliveira Panão, et al, (2006), a abordagem de climatologia em áreas urbanas depende da escala do espaço físico a que se refere.

As escalas urbanas representadas na Figura 2.1 podem distinguir-se tendo em conta a grandeza da sua ordem de extensão, ou seja, a extensões de ordem de grandeza de dezenas de quilómetros encontra-se associado o conceito de mesoclima (escala “a” e “b” representadas na Figura 2.1) enquanto que, para extensões de algumas centenas de metros aplica-se o conceito de microclima (escalas “c”, “d” e “e”).

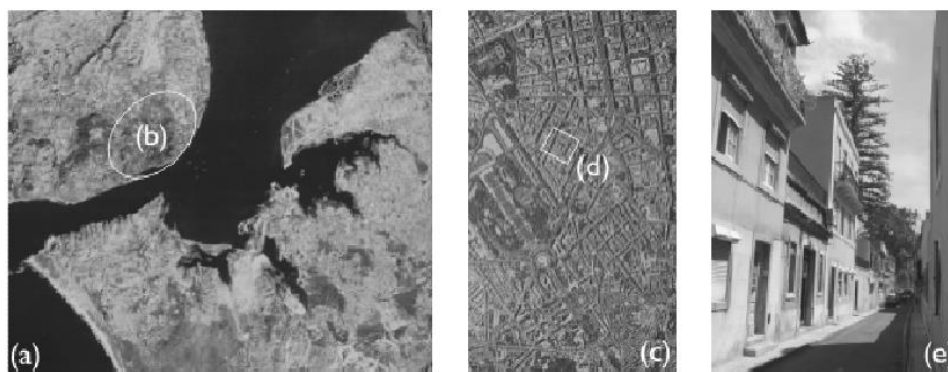


Figura 2.1 - Escalas urbanas: (a) área metropolitana, (b) cidade, (c) bairro, (d) quarteirão, e (e) rua. Fonte: Oliveira Panão, et al, (2006).

Pretende-se analisar neste estudo o conforto de espaços públicos, os quais se integram no conceito do microclima, podendo este ser definido como o clima da camada de ar adjacente à superfície da Terra e de pequenos lugares, áreas bem definidas de confinamento potencialmente intenso, como uma rua, uma praça ou um jardim (Cuadrat e Pita, 2009).

De modo a compreender os fatores que interferem na caracterização do clima destes espaços, a distinção estabelecida por Oke (1976), assume especial importância, na medida em que permite delimitar os fenómenos físicos que ocorrem entre a atmosfera e o espaço urbano. Esta distinção consiste na divisão das camadas superiores das áreas urbanas (Figura 2.2).

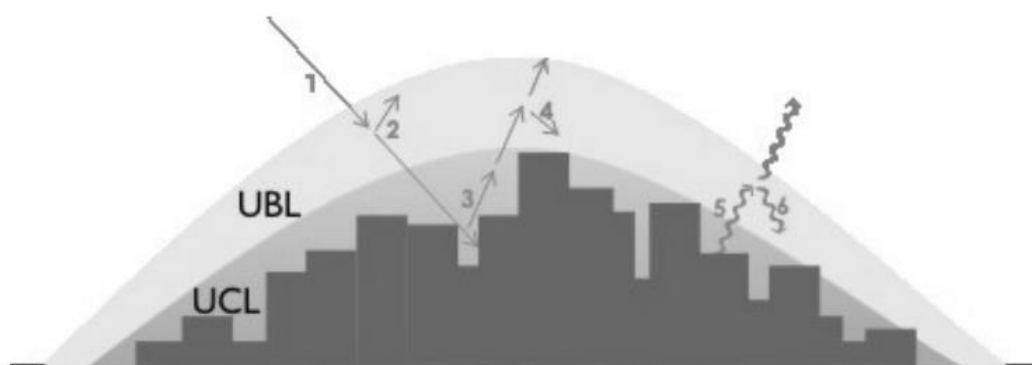


Figura 2.2 - Camadas da atmosfera urbana: atmosfera urbana superior (UBL) e atmosfera urbana inferior (UCL). Fonte: Oliveira Panão, et al, (2006).

Como é perceptível (Figura 2.2), a atmosfera urbana inferior (UCL, urban canopy layer) é a camada que vai do solo até à linha fictícia formada pelos edifícios mais altos e onde dominam os fenómenos de transferência de energia e massa, ou seja, as trocas radiativas entre superfícies e o escoamento de ar. Já na atmosfera urbana superior (UBL, urban boundary layer), acima dessa mesma linha fictícia, mas ainda sob influência da cidade, dominam os fenómenos de maior escala temporal e espacial, e dependem do tipo de utilização da superfície urbana. Assim, o conjunto urbano da cidade influencia

no seu todo o padrão geral de ventos, a precipitação, a humidade e a temperatura do ar (Oliveira Panão, et al, 2006).

Diariamente, a atmosfera é influenciada pela atividade humana, na maioria das vezes negativamente, o que faz imperar a ação de reverter / atenuar os impactos provocados pela mesma (atividade humana) no ambiente construído. Contudo, é fundamental ter em conta as trocas energéticas no sistema Terra-Atmosfera (já acima referidas), delineando uma correta “manipulação” nestes espaços.

2.3. FATORES CLIMÁTICOS

Para além dos processos atmosféricos que ocorrem no sistema terra-atmosfera, o clima urbano é determinado por outros fatores que simplificadaamente podem ser separados em fatores climáticos globais (que dão origem ao clima nos seus aspetos macro ou mais gerais) e os fatores climáticos locais (aqueles que condicionam, determinam e dão origem ao microclima ou ao clima que se verifica num ponto restrito), conforme o Quadro 2.1.

O clima urbano tem processos atmosféricos específicos baseados na correlação entre as trocas de energia dentro do sistema de Atmosfera da Terra, geografia e características de superfície que definirão os macroclimas da Terra (Cortesão, 2013).

Quadro 2.1 - Fatores globais e locais que determinam o clima

Fatores Climáticos Globais	Fatores Climáticos Locais
Latitude, Longitude e Altitude	Topografia
Radiação Solar	Vegetação
O Vento	Superfície do solo
Massas de água e terra	

2.3.1. FATORES CLIMÁTICOS GLOBAIS

2.3.1.1. Latitude, Longitude e Altura

A latitude, longitude e a altura são as coordenadas que determinam a posição de um ponto na superfície terrestre.

A latitude é sempre referida em relação à linha do equador, imaginando-se que cada ponto da superfície da terra esteja contido num dos semicírculos, paralelos a essa mesma linha, formados pelos diferentes ângulos com o eixo da esfera terrestre. A latitude varia dos 0° aos 90° e pode distinguir-se ainda a Norte e Sul, consoante se localizar acima ou a baixo da linha do equador (Figura 2.3).

Tomando como ponto de partida o equador, a temperatura média do ar diminui à medida que se aproxima dos pólos. No entanto, esta relação não é linear, pois outros fatores como a altura, vento, correntes marítimas e fatores climáticos têm influencia neste parâmetro (Romero, 2013).

A longitude é a medida em relação ao Meridiano de Greenwich. Esse meridiano é, por definição, o semicírculo que passa pelos pólos e pelo observatório de Greenwich, situado na Inglaterra (Frota,

Schiffer, 2001). Assim, a longitude é medida entre os 0° e os 90°, para Este ou para Oeste do Meridiano de Greenwich.

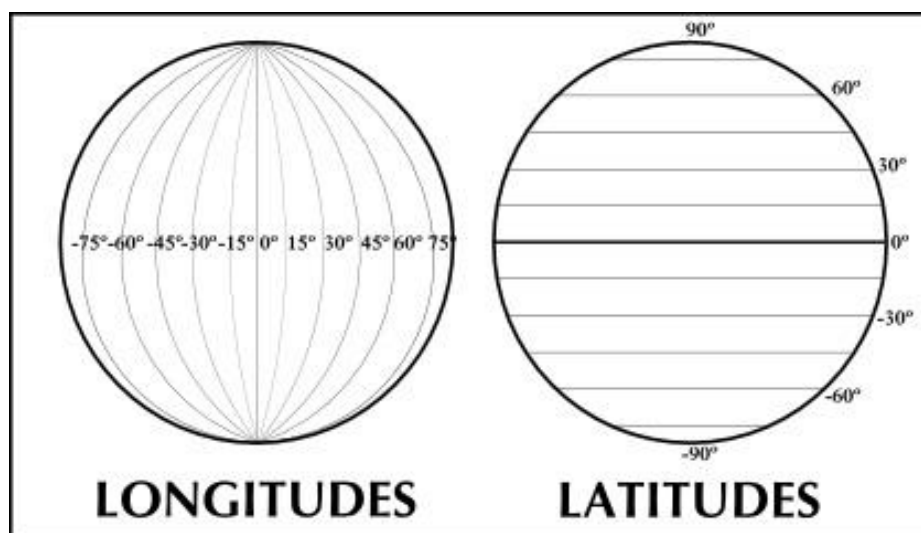


Figura 2.3 - Ilustração didática da Latitude e Longitude. Fonte: <http://escolakids.uol.com.br/latitudes-e-longitudes.htm>

Segundo Fitch (1971), mencionado por Romero (2013), o principal fator geográfico é expresso pela latitude, uma vez que determina a quantidade de energia solar que cada ponto vai receber. Já a longitude, diz o autor, não possui a mesma importância, pois refere-se essencialmente à localização e nunca ao clima (Figura 2.4).

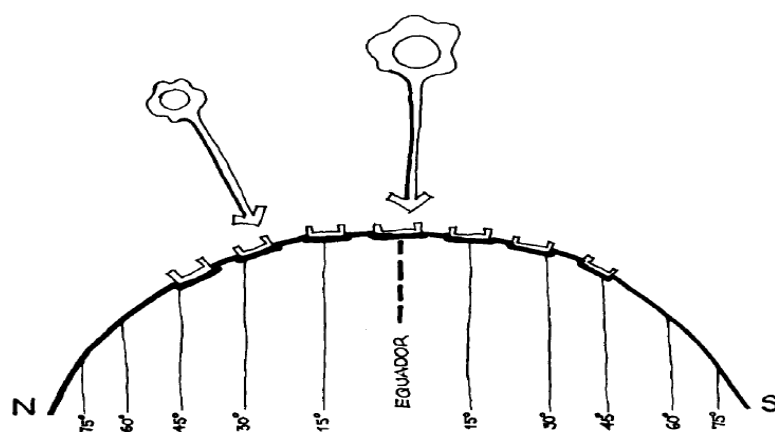


Figura 2.4 - A incidência da radiação solar em relação à variação da latitude. (Adaptado de Romero, 2013).

Quanto à altitude, esta é referida em relação ao nível médio das águas do mar e é um dos fatores determinantes na temperatura, pelo facto de que, com o seu aumento, o ar está menos carregado de partículas sólidas e líquidas, as quais são responsáveis por absorverem as radiações solares e as

difundirem, aumentando a temperatura do ar. Assim sendo, as temperaturas diminuem linearmente com o aumento da altura.

2.3.1.2. Radiação solar

A radiação solar é a energia transmitida pelo sol (motor de todo o sistema da vida terrestre) sob a forma de ondas magnéticas de diferentes comprimentos de onda, divididos genericamente em três regiões: a ultravioleta, a visível e a infravermelha (Figura 2.5).

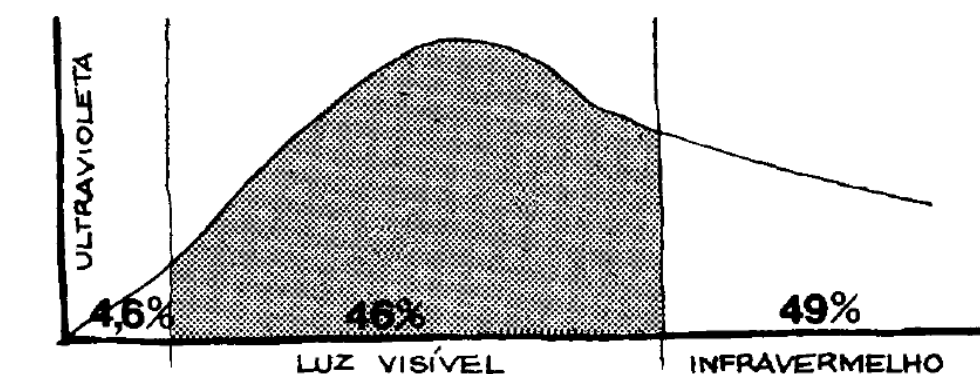


Figura 2.5 - Composição da radiação solar. Percentagem de ondas eletromagnéticas de diferentes comprimentos de onda. Adaptado Romero (2013).

A atmosfera é o primeiro filtro que está entre o sol e a terra e determina em grande parte o equilíbrio energético do planeta. À medida em que a radiação penetra na atmosfera terrestre, a sua intensidade é reduzida e a sua distribuição espectral é alterada em função da absorção, reflexão e difusão dos raios solares pelos diversos componentes do ar (Romero, 2013).

Apenas uma pequena parte da radiação ultravioleta atinge a superfície da terra, pois grande parte é absorvida pelo ozono. Já a radiação infravermelha é absorvida por vapor de água e dióxido de carbono.

Da radiação solar que penetra na atmosfera, parte é refletida pela superfície da terra ou pelas nuvens, sendo a restante absorvida pelos níveis inferiores da atmosfera (Figura 2.6), o que leva a um aumento da temperatura do ar. No entanto, a radiação absorvida pela terra está em equilíbrio com as perdas de calor que se sentem na mesma, que podem ocorrer por radiação, evaporação (a superfície terrestre arrefece quando a água se transforma em vapor e se mistura com o ar) e convecção (o ar em contacto com a superfície terrestre aquece, ficando mais leve e subindo para a atmosfera superior, onde é dissipado). Segundo Bardou (1980), citado por Romero (2013), o balanço final anual entre estes fenómenos será nulo.

É importante realçar que a espessura das nuvens quando suficientemente espessa (fenómeno designado de nebulosidade) e extensível, pode formar uma barreira que impede a penetração de parte significativa da radiação solar direta. Do mesmo modo, este fenómeno pode dificultar também a dissipação do calor proveniente do solo, durante a noite (Frota, Schiffer, 2001).

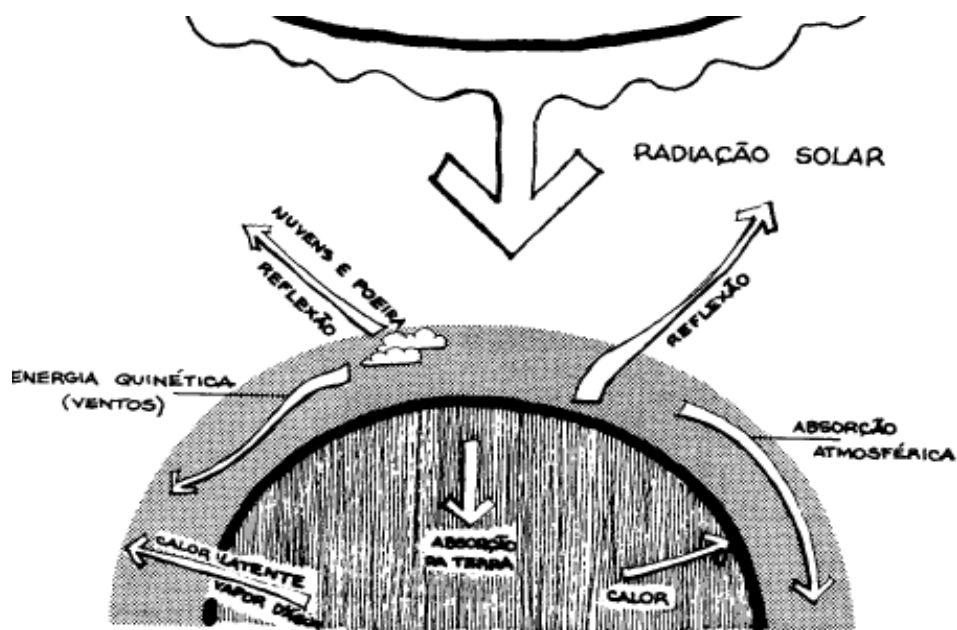


Figura 2.6 - Fenómeno de absorção e reflexão da radiação solar na Terra. (Adaptado de Romero, 2013)

Importa dar ênfase a que a radiação solar absorvida pela atmosfera é variável ao longo do ano e de acordo com a latitude. Este fenómeno pode ser melhor elucidado com a demonstração do movimento aparente do Sol em relação à Terra (Figura 2.7).

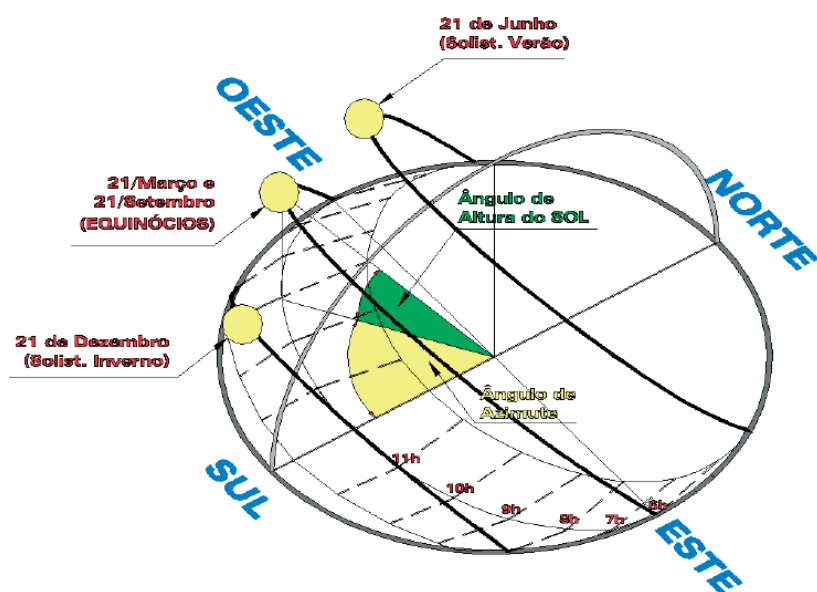


Figura 2.7 - Percurso do sol ao longo do ano. Fonte: (Gonçalves, Graça, 2004).

Aparentemente, para um observador situado na Terra, o Sol movimenta-se em torno da Terra, variando a inclinação dos raios em função da hora e da época do ano.

Em Portugal, no solstício de Inverno (21 de dezembro), o sol nasce relativamente próximo da orientação Sudeste e põe-se relativamente próximo da orientação Sudoeste, variando o ângulo do Nascer e do Pôr-do-Sol com a latitude do local. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais baixos de todo o ano.

Nos Equinócios (21 de março e 21 de setembro), o sol nasce exatamente na orientação Este e põe-se exatamente na orientação Oeste.

No solstício de Verão (21 de junho), o sol nasce relativamente próximo da orientação Nordeste e põe-se relativamente próximo da orientação Noroeste, variando o ângulo Nascer e do Pôr-do-Sol com a latitude do lugar. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais altos de todo o ano.

Assim sendo, a localização dentro de uma região, a densidade da área construída, a altura dos edifícios, a orientação e a largura das ruas, assim como outros elementos morfológicos, têm que ter em conta o percurso do sol ao longo do ano.

2.3.1.3. Vento

O vento é uma consequência direta da variação da pressão atmosférica que pode ser explicada, entre outros fatores, pelo aquecimento e arrefecimento das terras e mares, pelo gradiente de temperatura no globo e pelo movimento de rotação da Terra (Cortesão, 2013). As causas da variação da pressão atmosférica devem-se à heterogeneidade do globo terrestre do ponto de vista da absorção local de energia solar e da diversidade nas trocas energéticas no interior das próprias correntes gasosas ou nas suas proximidades (Ferreira, 1965), denominando-se a pressão atmosférica como a ação exercida pela massa de ar que existe sobre as superfícies.

A análise do vento é uma matéria bastante complexa, quer nos fenómenos que lhe dão origem quer na forma como se comportam. É descrito por magnitude, direção e sentido, em que pequenas mudanças na configuração de um espaço podem mudar drasticamente o seu padrão (Nikolopoulou, 2004), sendo por isso uma variável muito instável. Assim sendo, este apresenta um comportamento distinto quando comparadas áreas rurais e urbanas, pelo facto de os espaços urbanos representam condições fronteira na sua propagação.

Deste modo, à medida que o ar flui do ambiente rural para o urbano, ajusta-se às novas condições fronteira definidas pelas cidades, resultando num comportamento distinto nas diferentes camadas anteriormente ilustradas na figura 2.2. Na atmosfera urbana inferior (UCL), correspondente em termos da análise do vento, a camada “obstruída”, o comportamento do vento é orientado pelas características locais como a topografia, geometria das construções, dimensões das ruas, presença de árvores, entre outras, resultando naturalmente na diminuição da velocidade do vento nesta camada em relação à camada não obstruída (UBL).

Cortesão (2013) refere, que como o comprimento da rugosidade é maior nas áreas urbanas do que nas áreas rurais circundantes, a velocidade do vento (V) em qualquer altura (H), é menor nas áreas urbanas e muito menor dentro das áreas obstruídas.

2.3.1.4. Massas de água e terra

Outro fator climático que interfere significativamente na variação da temperatura nas diversas regiões da Terra é a distribuição não uniforme de massas de terra e mar ao longo dos paralelos (linhas paralelas ao equador), o que devido às diferenças que estas apresentam em termos de capacidade de armazenamento de calor se reflete em alterações diretas no clima dos diferentes locais.

O calor específico da água é aproximadamente o dobro do da terra, o que leva a que a água necessite de quase o dobro da energia térmica que a terra necessita para que ocorra a mesma elevação de temperatura, de uma unidade de massa. Portanto, ao arrefecer, a água também perde grande quantidade de energia.

A camada de ar húmido que paira sobre os oceanos tem capacidade de receber e de reter calor, fazendo com que os oceanos sejam uma grande parte da reserva do calor mundial, tornando-se mais frescos no verão e mais quentes no inverno em relação aos continentes, numa mesma latitude.

Posto isto, qualquer corpo de água tem o efeito de reduzir as temperaturas extremas diurnas e estacionais da sua envolvente, e grandes massas de água possuem um pronunciado efeito estabilizador.

Romero (2013) argumenta e exemplifica que as ilhas tendem a apresentar climas estáveis e desvios mínimos das características inerentes à sua latitude enquanto que, penínsulas e baías tendem a possuir climas fortemente influenciados pelos corpos de água adjacentes, fazendo referência à península de Yucatán no México e a Itália.

Nesse sentido, quando comparadas duas faixas do globo situadas entre as mesmas latitudes, mas em hemisférios opostos, por exemplo, entre 0° e 30°, observa-se que a região situada no hemisfério norte possui menos mares do que a do hemisfério sul (Figura 2.8). Como resultado deste fenómeno denominado “Continentalidade”, teremos que, no hemisfério norte, os invernos serão mais frios e os verões mais quentes, em valores médios, pois as massas de água são afetadas mais lentamente que as de terra.

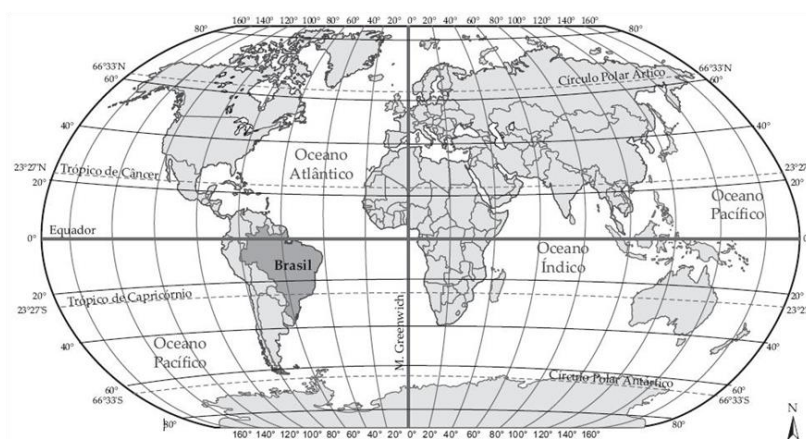


Figura 2.8 - Esfera Terrestre. Fonte: <https://www.colegioweb.com.br/geografia/localizacao-nos-hemisferios.html>

2.3.2. FATORES CLIMÁTICOS LOCAIS

Elisavet (2001) refere que os microclimas urbanos variam muito de cidade para cidade e dentro de uma cidade. Cortesão (2013) acrescenta que numa mesma cidade o clima local pode apresentar inúmeras variações microclimáticas resultantes da interação entre fatores físicos.

2.3.2.1. Topografia

A topografia é o resultado de processos geológicos e orgânicos e também afeta a temperatura do ar, a nível local.

Além da natural diferença de radiação solar proveniente de orientações distintas, um relevo acidentado pode constituir uma barreira aos ventos (Figura 2.9), modificando, muitas vezes, as condições de humidade e de temperatura do ar em relação à escala regional (Frota, Schiffer, 2001).



Figura 2.9 - Esquema representativo da influência da topografia no microclima. (Fonte: Romero, 2013).

2.3.2.2. Vegetação

A vegetação contribui de forma significativa no estabelecimento dos microclimas. Em geral, a vegetação tende a estabilizar os efeitos do clima nos arredores imediatos, reduzindo os extremos ambientais (Figura 2.10).

A este respeito, Mascaró e Mascaró (2002) defendem que a vegetação “ameniza a radiação solar nas estações quentes, através da sombra; reduz a carga térmica recebida pelos edifícios, veículos e peões; modifica a velocidade e direção dos ventos; atua como barreira acústica; reduz a poluição do ar através da fotossíntese e da respiração”.

Um espaço com vegetação pode absorver uma maior quantidade de radiação solar e, por sua vez, irradiar uma quantidade menor de calor comparativamente a uma superfície construída, uma vez que grande parte da energia absorvida pelas folhas é utilizada para o seu processo metabólico, enquanto que no caso de alguns materiais toda a energia absorvida é transformada em calor.

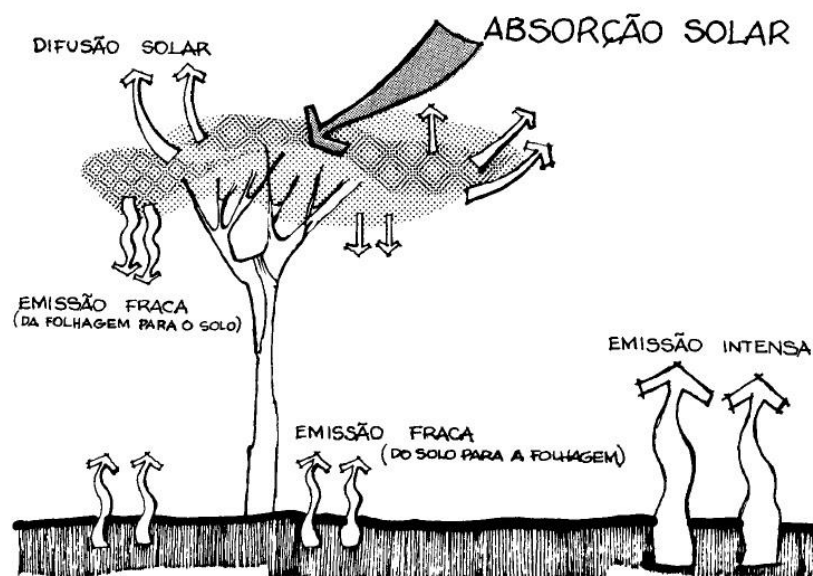


Figura 2.10 - Efeito regulador da vegetação nas radiações de grande comprimento de onda. (Adaptado de Romero, 2013).

2.3.2.3. Superfície do solo

Como resultado natural do processo de urbanização, a cobertura vegetal natural é substituída progressivamente por construções e ruas pavimentadas, impondo desta forma modificações na drenagem do solo e alterando o equilíbrio do meio ambiente.

As alterações ao equilíbrio do meio ambiente acontecem devido à capacidade de armazenamento de calor dos materiais utilizados nas construções. Desta forma, o tecido urbano absorve mais radiação solar durante o dia, armazenando-o sob a forma de calor e irradiando-o durante a noite (Figura 2.11).

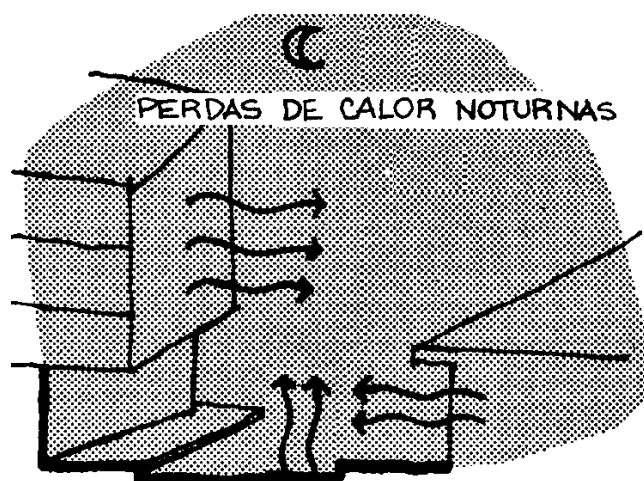


Figura 2.11 – Esquema representativo das perdas de calor noturno dos materiais utilizados na construção. (Adaptado de Romero, 2013).

Para além da capacidade de armazenamento de calor dos diferentes materiais, torna-se imprescindível conhecer o valor de albedo associado aos mesmos, sendo este o parâmetro que traduz a proporção da quantidade da luz do sol que é refletida pelo material em relação à que sobre ele incide.

Segundo Lynch (1981), se o solo possui um albedo baixo e uma condutibilidade alta, o microclima resultante é suave e estável, uma vez que o excesso de calor é absorvido e armazenado rapidamente e, quando as temperaturas diminuem, é rapidamente devolvido. Os materiais de superfície com alto albedo e baixa condutibilidade contribuem para criar um microclima de extremos, já que não contribuem no equilíbrio dos contrastes.

Assim, a natureza dos materiais superficiais assume extrema importância tendo em conta a finalidade que se pretende alcançar, isto porque, como será abordado nos capítulos seguintes, baixos valores de albedo não são adequados para atenuar o stress térmico dos espaços públicos.

2.4. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

As alterações climáticas descrevem mudanças das características que compõem o clima e que, consequentemente, terão influência sobre os componentes do sistema Terra-Atmosfera, potenciando a que um novo equilíbrio se atinja. Para Cuadrat e Pita (2009), uma das principais características das alterações climáticas representam um fenómeno irreversível que terá impactos sem precedentes nas zonas urbanas.

De todos os impactos esperados resultantes das alterações climáticas nas áreas urbanas, as principais preocupações devem recair sobre o aumento substancial das temperaturas extremas, aumento da intensidade e frequência de precipitações e intensificação das secas em algumas estações e áreas, devido às reduzidas precipitações e/ou aumento da evapotranspiração (IPCC, 2012).

Contudo, embora os impactos das alterações climáticas mencionados sigam uma tendência negativa, estes não são lineares, ou seja, há estudos e autores que referem aspetos positivos relacionados com as alterações climáticas. Alexandri (2005) refere que as alterações climáticas podem ou não ser favoráveis para os habitats humanos e naturais.

No entanto, e tendo em conta que a discussão desta problemática foge do contexto deste estudo, são apenas focados os impactos que as alterações provocam no bem-estar das populações urbanas e no constrangimento no que se refere à utilização dos espaços públicos.

Embora com alguma incerteza, vários estudos de diversos autores apontam para um aumento da temperatura do ar, o que por sua vez faz aumentar o stress térmico colocado sobre o corpo, condicionando o acesso aos espaços públicos e pondo em causa os seus benefícios sociais (Tunstall, 2006).

Salienta-se ainda a argumentação de Wilson, Nicol, et al. (2008) que referem que, tendo em conta o panorama atual, grande parte dos impactos das alterações climáticas já estão comprometidos até meio do século e a razão para isso é "o atual nível de carbono presente na atmosfera e os atrasos no sistema climático". Taylor (2008) reforça essa ideia afirmando que "devido aos efeitos retardados das emissões de gases de efeito estufa, estamos presos a mudanças climáticas significativas, independentemente de quaisquer reduções de emissões que possamos garantir agora".

Os efeitos resultantes das alterações climáticas levam a que latitudes que atualmente não apresentam verões quentes, possam, no futuro, apresentar essas mesmas condições ou similares, assumindo uma grande preocupação.

Posto isto, a adaptação do ambiente construído às alterações climáticas deve rapidamente ser materializada em projetos reais de espaço público e antecipada a resposta a possíveis necessidades futuras, evitando situações de possível desconforto social.

Assim, em áreas urbanas compactas é necessário obter o maior benefício das estruturas existentes, por forma a alcançar melhorias no microclima de espaços públicos ao ar livre.

3

CONFORTO TÉRMICO

3.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se compreender o conceito “conforto térmico”, quais as exigências do ser humano para alcançar esta sensação, de que fatores depende e de que forma pode ser avaliado e controlado para que se estabeleça um equilíbrio entre o ambiente construído e o clima, proporcionando conforto (térmico) aos utilizadores dos espaços públicos.

Para a existência ou não de conforto térmico nos espaços públicos, assumem especial importância algumas variáveis, tanto ambientais como humanas, pelo que são analisadas. As possíveis formas de transferência de calor entre o Homem e o ambiente são, também, abordadas.

Desta forma, permite o presente capítulo desenvolver um conhecimento sólido sobre os conceitos abordados, de modo a que se possa prosseguir e estabelecer a relação destes com os restantes temas abordados nesta dissertação.

3.2. CONFORTO TÉRMICO

O conceito de conforto térmico diz respeito a uma condição mental do ser humano, o qual expressa satisfação com o ambiente térmico que o rodeia (Ferreira, 2013). No entanto, para se atingir esta condição mental de satisfação é necessário o conjugar de diversos fatores que variam significativamente no tempo e no espaço.

Jones (2001), refere que a definição de conforto térmico é complexa, pois é influenciada por vários fatores e, na mesma linha de ideias, a ASHRAE (2010) entende conforto térmico como estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa.

O conforto é uma sensação que está diretamente relacionada com aspetos biológicos, físicos e emocionais, sendo impossível satisfazer, em simultâneo, todos os indivíduos que se encontrem em condições semelhantes.

3.3. EQUILÍBRIO TÉRMICO ENTRE O HOMEM E O AMBIENTE

3.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Sendo o homem um animal homeotérmico, ou seja, capaz de manter a sua temperatura corporal sensivelmente constante através do seu metabolismo, este possui mecanismos de controlo que comandam a redução dos ganhos e o aumento das perdas conforme as necessidades. A estes mecanismos de controlo é dado o nome de termorregulação, que embora ocorra de forma natural, requer um esforço extra e consequentemente se traduz num decréscimo da potencialidade de trabalho. Neste contexto, poderá dizer-se que o Homem atinge o conforto térmico quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com a sua atividade (Frota, Schiffer, 2001).

O equilíbrio corporal, mais precisamente a sua perceção pelo Homem, está associado ao conceito de conforto térmico. O homem encontra-se numa situação de conforto quando, após um balanço entre todas as trocas de calor a que o seu corpo está sujeito, atinge uma temperatura estável, altura em que as trocas de calor diminuem.

Em termos gerais, a temperatura interna corporal a ser mantida é na ordem dos 37°C, no entanto, sempre que as condições ambientais causem sensação de frio ou calor, é sinónimo de que o organismo está a perder mais ou menos calor do que o necessário para a manutenção dessa temperatura, o que leva ao acionamento dos mecanismos de termorregulação. Isto impulsiona a um impacto posterior no rendimento do trabalho (conforme referido anteriormente), podendo atingir condições extremas de perda total da capacidade de trabalho ou até mesmo conduzir a problemas de saúde. Souza (2010) refere que, “para que aconteça conforto térmico, é preciso que todo o calor produzido pelo organismo seja eliminado na mesma proporção, permanecendo o organismo em temperatura estável, sem que precise de ativar os mecanismos de troca de calor”.

García (1985) considera que o “conforto térmico consiste no conjunto de condições em que os mecanismos de autorregulação são mínimos, ou ainda, na zona delimitada por características térmicas em que os maiores números de pessoas manifestem sentir-se bem”. Pode assim dizer-se que o conceito de conforto térmico está relacionado com o equilíbrio entre o corpo humano e o ambiente: o organismo atinge uma temperatura estável e as trocas de calor são minimizadas.

3.3.2. TRANSFERÊNCIA DE CALOR ENTRE O HOMEM E O AMBIENTE

Conforme referido anteriormente, o corpo do ser Humano desenvolve mecanismos que permitem manter constante a temperatura corporal, sendo a alimentação o “combustível” para que ocorra a produção de calor pelo corpo, no entanto, as transferências de calor com o meio ambiente também representam um papel determinante neste processo. A transferência de calor entre um corpo e o ambiente envolvente ocorre sempre que se verifica existência de diferentes temperaturas, até que se atinja um equilíbrio, podendo este ocorrer de várias formas (Figura 3.1).

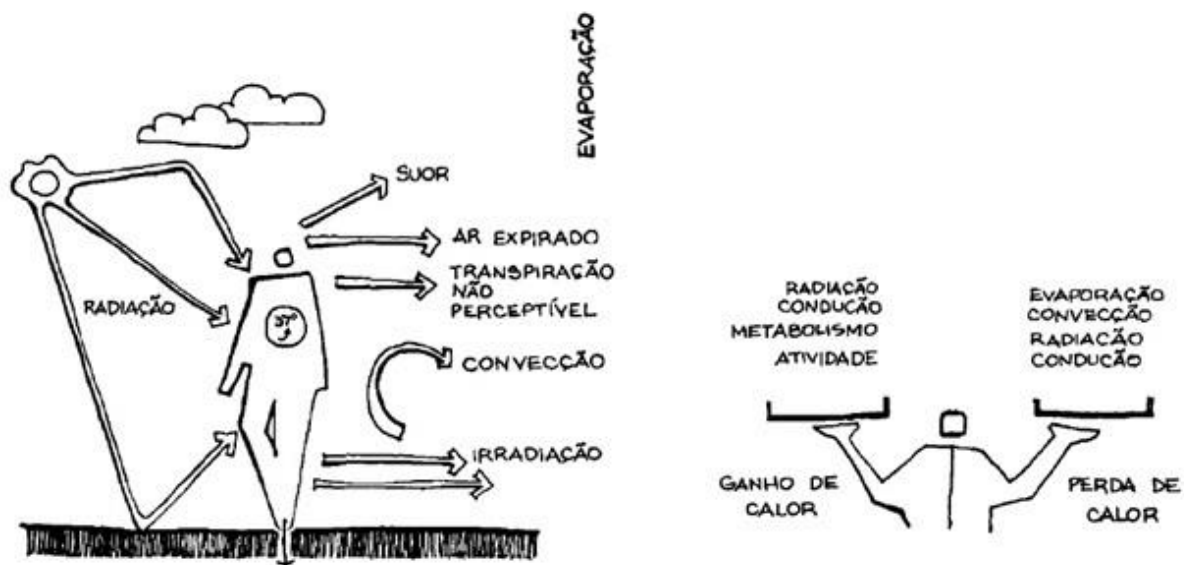


Figura 3.1 - Transferência de calor entre o Homem e o ambiente. (Adaptado de Romero, 2013).

O equilíbrio térmico do Homem com o meio ambiente é assegurado pelos seguintes processos de trocas térmicas:

3.3.3. RADIAÇÃO

Trata-se de um fenómeno de transferência de calor de um corpo a uma determinada temperatura para outro de temperatura inferior, através de ondas eletromagnéticas. Quando estas entram em contacto com um corpo a temperatura inferior, transformam-se em energia calorífica. Este modo de transferência de calor é independente do meio, pois é a própria variação de temperatura entre os corpos que determina a quantidade de energia transferida, juntamente com as propriedades de emissividade e absorção das superfícies intervenientes. Em condições de ar puro, estas são a principal fonte de perda de calor, enquanto que sob a velocidade do vento, a perda de calor por convecção pode ser mais importante (Cortesão, 2013).

Assim sendo, “Todas as substâncias radiam energia térmica sob a forma de ondas eletromagnéticas. Quando esta radiação incide sobre outro corpo, pode ser parcialmente refletida, transmitida ou absorvida. Apenas a fração que é absorvida surge como calor no corpo” (Almeida, 2009).

3.3.4. CONDUÇÃO

A condução de calor ocorre quando a temperatura do ambiente circundante é diferente da temperatura do organismo. Quando a temperatura do organismo é superior à do ambiente, ocorre transferência de calor do corpo para o ar circundante - esta manifestação origina um ciclo de convecção provocado pela ascensão do ar quente que substitui o ar frio. No entanto, se as posições de temperatura forem invertidas, o processo ocorre no sentido inverso e, caso não se verifiquem diferenças de temperatura, o processo é nulo, ou seja, não ocorre.

Posto isto, ocorre o fenómeno de condução “Quando a transferência de calor se realiza através de sólidos ou líquidos que não estão em movimento (por exemplo através do contacto de partes do corpo com elementos da envolvente, contacto entre um corpo quente e um frio)” (Almeida, 2009).

3.3.5. CONVECÇÃO

Convecção é o termo que designa as trocas de calor que ocorrem entre elementos líquidos e gasosos quando estes manifestam diferentes temperaturas. Neste fenómeno a transferência de calor ocorre através de fluidos em movimento e só se manifesta nos líquidos e nos gases.

O ar, quando em contato com uma superfície mais quente, aquece e, consequentemente, torna-se menos denso e afasta-se da superfície, levando energia com ele. Por outro lado, se o ar entrar em contato com uma superfície de temperatura inferior, o calor é transferido para a superfície (Cortesão, 2013).

Deve realçar-se que, durante o dia, a convecção constitui o principal processo de transporte de calor a partir de uma superfície, independentemente da forma de fluxo de calor sensível ou latente. Por sua vez, durante a noite, esta situação é revertida, uma vez que a condução ascensional que ocorre no solo é mais eficaz e a convecção do calor latente é menos efetiva (Cortesão, 2013).

Assim sendo, convecção verifica-se “Quando a transferência de calor se realiza através dos fluidos em movimento, e por isso só tem lugar nos líquidos e nos gases (por exemplo o movimento do ar sobre o corpo)” (Almeida, 2009).

3.3.6. EVAPORAÇÃO

A evaporação é um fenómeno que pode ocorrer ao nível da pele, por transpiração ou sudação, mas também ao nível das vias respiratórias, através da respiração. Este é um fenómeno de elevada importância fisiológica, pois constitui uma perda de calor para o corpo, representando assim uma importante forma de estabilização de temperatura. Destaca-se aqui, então, que “Uma via de grande importância em fisiologia é a evaporação, que constitui uma perda de calor. Esta evaporação pode dar-se através da transpiração, através da sudação, quando se dá ao nível da pele e arrefece a sua superfície, ou através da respiração, ao nível das vias respiratórias” (Almeida, 2009).

3.4. FATORES QUE INFLUENCIAM A SENSÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

3.4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A sensação de conforto térmico por parte dos utilizadores dos espaços públicos depende daquilo que se designam por variáveis de conforto térmico.

Um estudo de Frota e Shiffer (1988), citado por Souza (2010), demonstra que “as variáveis de conforto térmico são diversas, quando consideradas as possibilidades de combinação entre os seus fatores de influência”. Neste sentido, consideram-se duas tipologias distintas de variáveis de conforto térmico, as humanas e as ambientais.

As variáveis humanas estão relacionadas com as características individuais de cada pessoa (altura, idade, peso, género, atividade física, vestuário que utiliza) e com características mais subjetivas, como sensação e preferência térmica. Já as variáveis ambientais referem-se a elementos climáticos,

recolhidos no ambiente através de medições (temperatura do ar, humidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar e temperatura média radiante).

Estabelecer parâmetros relativos às condições de conforto térmico requer incorporar, além das variáveis climáticas citadas, a temperatura das superfícies presentes no ambiente e a atividade desenvolvida pelas pessoas.

3.4.2. VARIÁVEIS INDIVIDUAIS

Diferentes pessoas percebem o ambiente térmico de diferentes maneiras. Devido a estas diferenças, “é impossível especificar um ambiente térmico que satisfaça todos” e “haverá sempre uma percentagem de ocupantes insatisfeitos” (ISO, 2005).

Em condições normais, o corpo Humano apresenta uma temperatura de 37°C, temperatura esta que sofre variações ao longo do dia podendo ocorrer num intervalo entre os 36,8°C e os 37,3°C (Cortês, 2013). As temperaturas mais baixas ocorrem de manhã, devido à descida da temperatura corporal durante o sono, já os registos mais elevados ocorrem ao final do dia. Para que a temperatura seja mantida por volta dos 37°C o organismo utiliza oxigénio, proveniente da respiração, para queimar as calorias ingeridas (Frota et al., 2003).

As variáveis individuais humanas que afetam a percepção de conforto térmico e que condicionam a transferência de calor, são as seguintes:

- o vestuário, sendo este um elemento que contribui para manter a temperatura do corpo, dependendo do material e espessura que o compõe, pois ajuda a reduzir as transferências de calor e oferece maior resistência térmica;
- o sexo do indivíduo, na medida em que mediante este fator é determinada a atividade metabólica do corpo - a atividade é superior no sexo masculino;
- a idade, que também interfere na atividade metabólica, pois quanto mais avançada, menor a atividade metabólica e, por essa razão, há tendência a preferir temperaturas mais elevadas;
- o peso e altura, mais especificamente o índice de massa corporal, na medida em que, quanto mais alto e magro for um indivíduo, mais energia consegue dissipar, tolerando assim maiores amplitudes térmicas e, neste caso, temperaturas mais elevadas;
- as condicionantes psicológicas, já que os comportamentos e ações do ser humano são permanentemente influenciados pelo meio que o rodeia. Atualmente tudo é criado a fim de conduzir a mente do indivíduo para um determinado fim. Os materiais utilizados e as cores são capazes de produzir no Homem a sensação de calor (amarelo, vermelho e laranja) ou de frio (azul, verde e violeta), levando à sensação de conforto ou de desconforto.
- atividade física, visto que qualquer movimento ou atividade desempenhada por um indivíduo, corresponde a um valor atribuído para a quantidade de energia produzida. Uma vez que o ser humano está constantemente a produzir e libertar energia, quanto maior a atividade física, maior será também a energia que o corpo necessitará de produzir.

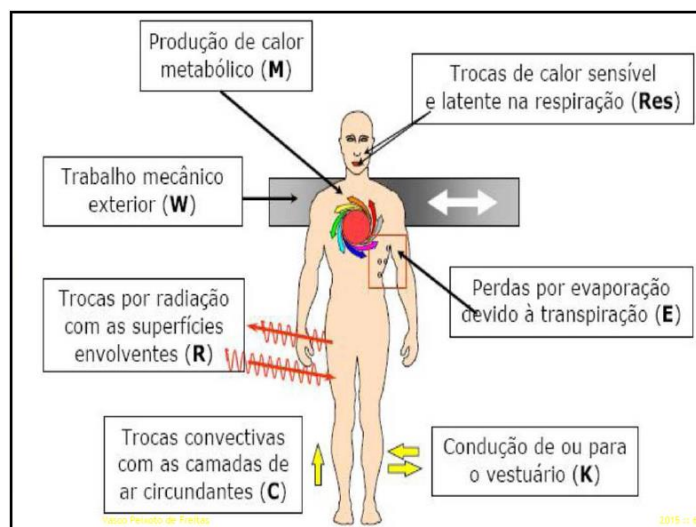


Figura 3.2 – Possíveis formas de transferência de calor entre o Homem e o ambiente. (Fonte: slides teóricos da disciplina de térmica dos edifícios, 5ºano do MIEC).

Baldini e Tavares (1985) defendem que os limites de temperatura onde se verifica uma sensação de desconforto térmico variam de acordo com a individualidade humana, uma vez que cada indivíduo está adaptado a um clima específico.

3.4.3. VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Segundo a ISO 7726 (2001) e citado por Cortesão (2013), as cinco principais variáveis ambientais normalmente consideradas como determinantes de um ambiente térmico e, portanto, com influência no conforto térmico, tanto em ambientes internos como ambientes externos, são a temperatura do ar, a humidade relativa, a radiação solar direta, a velocidade do vento e a temperatura média radiante. A influência das variáveis no microclima é normalmente determinada a 1,1 metros acima do solo, correspondendo à altura média de um centro de gravidade de adultos em pé (Gulyas Unger et al, 2006).

Segue-se uma breve abordagem às diferentes variáveis mencionadas:

- Temperatura do ar

A temperatura do ar pode ser expressa em kelvins (K) ou em graus Celsius (°C) e traduz o balanço energético entre a superfície terrestre e a atmosfera, variando de local para local e não constante no tempo. A insolação, a natureza da superfície, a localização dos elementos hídricos, o relevo e a natureza dos ventos dominantes influenciam esta variável (Ayoade, 2001).

Rivero (1985) classifica os limites de conforto a partir da temperatura do ar, expressos no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Limites de conforto térmico. (Adaptado de Ferreira, 2013).

Sensação	Limites de conforto térmico	Temperaturas registadas
Conforto térmico	Ótimo	23°C a 25°C
	Levemente quente	25°C a 28°C
	Quente	28°C a 31°C
Desconforto térmico	Muito quente	31°C a 35°C

- Humidade relativa do ar

A humidade relativa corresponde à relação do teor de vapor de água existente no ar com a quantidade máxima que poderia conter para uma determinada temperatura. Indicada em percentagem (%), é a razão, para uma determinada temperatura, entre o número de gramas de vapor de água existente em 1m³ de ar e o número máximo de gramas de água que 1m³ de ar pode conter (Ruas, 1999).

Somente para valores extremos de humidade relativa, ou muito altos (humidade) ou muito baixos (secura), e muitas vezes em conjugação com certas condições (temperatura do ar), aumentando o seu efeito, a sensação térmica das pessoas é afetada por esta variável (Nikolopoulou e Lykoudis, 2006).

Em geral, quanto menor for a temperatura do ar ou maior a velocidade do vento, maiores valores de humidade relativa podem ser tolerados pelas pessoas. Relaciona-se, também, de forma direta, com a proximidade dos recursos hídricos.

Assim sendo, poderão definir-se as seguintes condições para os diferentes intervalos de humidade relativa presentes no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Elaboração própria com base nos autores: Tojo (2007), Nikolopoulou (2004) e Lamberts e Xavier (2002).

Intervalos	Condição
≤ 20 %	Muito seca
20% - 30%	Seca
30% - 70 %	Média
≥ 70%	Húmida

Altos níveis de secura podem afetar o corpo humano, secando a pele e as superfícies mucosas, o que pode levar ao desconforto, através do nariz seco, garganta, olhos e pele (ASHRAE, 2005). Por sua vez, condições de humidade relativa elevada provocam excesso de humidade da pele. Trata-se também de um fator que influencia a dissipação do calor por evaporação, pois quando o ar se encontra com baixa humidade relativa, absorve mais rapidamente a água; no entanto, quando este está mais saturado, o processo torna-se mais lento. A humidade do ar de impacto mais direto sobre o conforto térmico humano está no "potencial ambiental de evaporação e na forma como o corpo se adapta às mudanças no potencial evaporativo" (Givoni, 1998).

- Temperatura média radiante

A temperatura média radiante (TMR) ou temperatura média de radiação das superfícies vizinhas é uma média de todas as temperaturas de superfície dos elementos do ambiente circundante ponderada pela proporção da superfície corporal face a cada superfície em particular.

Geralmente expressa em Kelvins (K) ou em Graus Celsius (°C), a temperatura média radiante é utilizada para avaliar a troca de calor radiante entre o corpo humano e o ambiente bem como, para o efeito do contato direto entre o corpo e uma determinada superfície.

As superfícies dos elementos constituinte do ambiente circundante ao libertarem calor por radiação permitem que o corpo absorva as ondas, fazendo essa captação energética com que o corpo aqueça ou arrefeça em função dos elementos que o envolvem, condicionando assim o conforto térmico.

A temperatura média radiante (TMR) é uma “média de todas as temperaturas de superfície do recinto, ponderada pela proporção da superfície corporal face a cada superfície em particular” (Spagnolo e Dear, 2003).

Conforme citado por Cortesão (2013), um estudo realizado por Spagnolo e Dear, (2003) sobre o conforto térmico ao ar livre em Sydney, constatou que a maioria das pessoas relatou sentir-se confortável dentro de uma faixa de TMR de 24 ° C a 30 ° C.

- Velocidade do vento;

A velocidade do vento é uma variável muito instável, descrita por magnitude, direção e sentido.

A velocidade do vento descreve “a taxa de movimento do ar num ponto, sem levar em conta a direção” (ASHRAE, 2010), medido e geralmente expresso em metros por segundo.

De acordo com o IPMA, o vento poderá ser classificado a partir da sua velocidade conforme definido no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 - Elaboração própria com base na informação do IPMA.

Descrição do vento	Velocidade do vento (m/s)
Vento fraco	< 4,16 m/s
Vento moderado	4,16 m/s a 9,72 m/s
Vento forte	9,72 m/s a 15,27 m/s
Vento muito forte	15,27 m/s a 20,83 m/s
Vento excepcionalmente forte	>20,83 m/s

De acordo com Oke (1987), os pedestres sentem o vento desagradável quando este se aproxima dos 5m/s, desconfortável para velocidades a rondarem os 10 m/s e potencialmente perigosos quando atingem velocidades próximas de 20 m/s.

A velocidade do vento (V) é um fator que acelera os mecanismos de transferência de calor entre o corpo e o ambiente, sejam eles por convecção, evaporação ou condução.

Givoni (1998), refere que para temperaturas do ar (T_a) abaixo de 33°C , o aumento da velocidade do vento pode reduzir a sensação de calor, na medida em que ocorre o aumento da sua perda por convecção, diminuindo desta forma a temperatura da pele. Para temperaturas do ar entre 33°C e 37°C , a velocidade do vento não tem um efeito significativo sobre a sensação térmica, embora sob determinados valores de humidade relativa e níveis de vestuário, pode contribuir para o desconforto de humidade excessiva da pele. Finalmente, para temperaturas do ar acima de 37°C , o aumento da velocidade do vento pode efetivamente aumentar a sensação térmica de calor, ainda que possa reduzir a humidade da pele.

Dependendo do clima, o mesmo valor da velocidade do vento pode ser considerado desejável ou indesejável. Em climas frios o vento quase sempre diminuirá as condições de conforto ao ar livre, enquanto que em climas quentes será o oposto (Nikolopoulou, 2004).

- Radiação Solar direta

A radiação solar direta é “o fluxo radiante total recebido pela área unitária de uma dada superfície” (Oke, 1987). É considerada para determinar a troca de calor radiante entre o corpo humano e o ambiente e é geralmente expressa em Watts por metro quadrado (W/m^2).

A radiação solar direta que atinge a superfície é provavelmente a influência mais significativa do microclima (Oke, 1987) e a responsável pelos valores de desconforto máximo (Ali-Toudert e Mayer, 2007b).

3.5. A IMPORTÂNCIA DO CONFORTO TÉRMICO NOS ESPAÇOS PÚBLICOS

Os espaços públicos desempenham um papel importantíssimo na vida atual da sociedade. É nestes espaços que ocorre o convívio, as mais diversas atividades físicas e de entretenimento, assim como se assumem como suporte a todas as restantes atividades.

A qualidade dos espaços públicos e a sua utilização pelos cidadãos está fortemente relacionada com as condições que o espaço oferece em si, quer ao nível visual, funcional e de conforto. Gehl (2010), afirma que as pessoas permanecem num local se este for bonito e consideravelmente agradável para se estar.

O conforto dos espaços públicos exteriores é fundamental para que estes sejam ocupados e visitados, e só é possível o seu alcance quando os materiais, incluindo o mobiliário urbano, vão ao encontro das diferentes necessidades dos cidadãos que por lá passam e permanecem. Estes locais devem contribuir para a melhoria da qualidade de vida e devem ser construídos numa perspetiva de se afirmarem como locais de descanso e lazer.

Conforme refere Gaitani et al., (2007), o grau e a intensidade das atividades realizadas nos espaços públicos dependem do nível de satisfação ou insatisfação em relação às condições climáticas prevalentes.

Relativamente ao conforto térmico, a própria configuração do espaço urbano poderá ter influência direta na sua determinação. O efeito das múltiplas reflexões entre os edifícios aumenta a capacidade de

uma superfície absorver radiação, no entanto, os sombreamentos entre os edifícios reduzem significativamente a radiação solar que incide nas fachadas (Oliveira Panão et al., 2006).

Considerar os edifícios envolventes, os locais de sombra, as oscilações de temperatura que se registam, bem como outros aspetos torna-se importante, pois estes fatores por sua vez regularam outros, e do resultado destas relações poderão surgir condições adversas que comprometerão a permanência ou visita de utentes a determinados espaços.

Para além da garantia do conforto, é importante que os espaços públicos sejam qualificados por aspetos visuais e funcionais, de modo a que se atinja um equilíbrio e se colmatem possíveis lacunas existentes.

Posto isto, elaborar um estudo prévio no âmbito do conforto térmico para espaços exteriores é fundamental, na medida em que constitui uma base importante na compreensão da utilização do espaço, nomeadamente ao nível das atividades ao ar livre. Um espaço confortável, apenas o é se tiver em linha de consideração os parâmetros de conforto térmico (Mendes, 2013).

4

ESPAÇOS PÚBLICOS

4.1. INTRODUÇÃO

Após uma abordagem às exigências humanas relativas aos parâmetros necessários para a obtenção da sensação de conforto, torna-se desafiante analisar e compreender em que medida os espaços públicos e as características dos materiais constituintes são determinantes para que se atinjam melhores condições térmicas para as pessoas possam satisfazer as suas necessidades nestes locais.

Neste contexto, apresenta-se no presente capítulo os principais elementos que regem o microclima dos espaços públicos urbanos ao ar livre, evidenciando condições e estratégias para projetar ou adaptar espaços urbanos de modo a atingir melhores condições de conforto, mas também para fazer face ao aumento substancial dos extremos de temperatura causados pelas alterações climáticas.

4.2. ENQUADRAMENTO

Pretende-se então, através de uma abordagem cuidadosa aos espaços urbanos, perceber as variáveis que condicionam o microclima, para que seja possível adaptar cada situação a um clima particular e desta forma proporcionar condições de bem-estar para quem frequenta estes espaços.

A qualidade dos espaços públicos e a sua utilização pelos cidadãos está fortemente relacionada com as condições que o espaço oferece em si, quer ao nível visual, funcional e de conforto (Mendes, 2013). Assim, não é suficiente garantir apenas condições de conforto térmico, mas também ter em conta outros aspetos que comprometerão a utilização e afluência a estes espaços:

- Aspetos funcionais - Devem ajustar-se ao fim a que se destinam, ou seja, o espaço em si, os equipamentos e o modo de disposição devem ter em atenção a finalidade do espaço. Deve ser tida em consideração a ergonomia de cada um dos elementos que configura o espaço.
- Aspetos de visuais – Através dos materiais utilizados, dos espaços verdes implantados e de outros fatores que poderão ser tidos em conta, deverão ser criados espaços que proporcionem um equilíbrio visual e que vá ao encontro das necessidades dos espaços envolventes.
- Aspetos de conforto e segurança – devem proporcionar não só condições de conforto térmico (alvo de estudo na presente dissertação), mas também condições de conforto acústico, boa qualidade do ar e, como resultado final da conjugação dos diversos aspetos, proporcionar a perceção de segurança aos utilizadores.

Posto isto, os espaços públicos devem contemplar os aspetos anteriormente mencionados, pois só dessa forma se atingirá o conforto e os espaços serão ocupados e visitados. Nesse sentido, os espaços públicos que não oferecem essas condições devem ser adaptados

4.3. O MICROCLIMA DOS CENTROS URBANOS

A urbanização crescente e não planeada resulta na transformação de áreas naturais em área construídas o que terá consequências a nível do ambiente e consequentemente a nível do conforto térmico.

A própria morfologia do ambiente contruído associada ao desenvolvimento urbano da sociedade que se instala e habita nestes locais podem ser apontados como os principais responsáveis por determinarem o clima. Para Sousa et al., (2005) quanto maior for o nível de ocupação do meio urbano, menor é a sua capacidade de realizar trocas de calor por radiação, favorecendo a formação das ilhas de calor nas áreas mais densamente construídas.

As designadas “ilhas de calor” é o termo atribuído ao fenómeno que ocorre nas áreas urbanas densamente construídas. Devido aos mecanismos de absorção e troca de calor entre as massas construídas, estes locais apresentam um aumento considerável de energia térmica que leva à formação de diferentes campos de pressão e a que ocorra uma ventilação própria nestes locais, divergindo da envolvente.

O aumento da energia térmica fará com que o ar aqueça e suba, formando correntes verticais que, aliadas à nebulosidade e maiores índices de condensação, irão favorecer a retenção de poluentes. Estes poluentes transportados pelas correntes verticais serão dispersos pela envolvente criando um processo cíclico e contínuo, que levará à formação de uma espécie de “teto” (Figura 4.1).

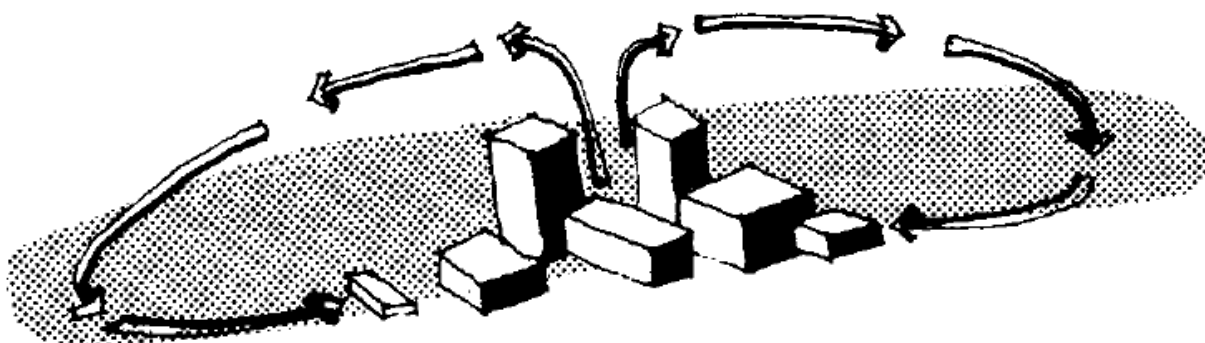


Figura 4.1 – Esquema representativo do fenómeno “ilha de calor”. Fonte: Romero (2013).

Conforme mencionado por Mendes (2013), a maioria dos estudos sobre clima urbano apontam para uma relação direta entre as ilhas de calor e as áreas centrais das cidades, onde normalmente há uma maior área de edificações, onde a ventilação é reduzida e onde se verifica uma ausência quase total de vegetação.

Para Giralt (2006), estas condições problemáticas podem estar relacionadas com a rugosidade, a ocupação do solo, a verticalização dos edifícios, a orientação, a permeabilidade e as propriedades dos materiais constituintes e a redução das áreas verdes.

Além dos fatores apontados como responsáveis pela formação das “ilhas de calor”, as características das cidades também contribuem para o seu agravamento, devido às atividades que nelas se desenvolvem, à impermeabilização dos solos, às massas de edificadas que modificam o curso natural dos ventos e à poluição gerada que modifica as condições do ar quanto à sua composição química e odores.

O conjugar destas alterações leva a que a precipitação em forma de chuva seja favorecida devido às partículas sólidas em suspensão no ar, que contribuem para a aglutinação das partículas de água que formarão a gota de chuva. Podendo então referir-se, que os impactos resultantes estabelecem um processo de influencia continua.

4.4. ELEMENTOS DE INTERVENÇÃO

4.4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

É necessário conhecer e determinar quais elementos podem ser manipulados para criar espaços mais agradáveis e obter melhores condições para um ambiente sustentável, bem como para reduzir o consumo de energia dos edifícios (Marincic e Villa, 2006).

Citando Giovani (1998), “os materiais, a geometria e as propriedades superficiais da estrutura em torno de um determinado lugar modificam o clima e o ambiente local”. Assim, partindo deste pressuposto, será elaborada uma abordagem aos espaços públicos e às suas características com o intuito de compreender em que medida se tornam influentes no clima local.

Os elementos morfológicos básicos que determinam o microclima de um espaço são Orientação, relação altura/largura, cores principais, tipologias do espaço público, elementos de água, dispositivos de sombreamento, materiais de revestimento e vegetação. Estes elementos serão apresentados nas páginas seguintes.

4.4.2. ORIENTAÇÃO

A orientação é um dos fatores de maior relevância para se atingir o conforto térmico de espaços públicos. Juntamente com a altitude e topografia que um determinado local apresente, a orientação de um espaço público determina a sua exposição à radiação solar e aos ventos dominantes e consequentemente, terá impacto na temperatura do ar e no conforto do ser humano.

Quando se projeta uma nova área urbana deve-se escolher a melhor orientação para que se atinjam microclimas equilibrados. Nestes casos, o processo inicia-se do zero e existe a possibilidade e liberdade de escolha da orientação que melhor permita conjugar as relações físicas dos edifícios com a topografia e a localização dos espaços abertos. Já em áreas urbanas previamente existentes com estrutura definida, terão que se optar por intervenções de menor escala para se melhorar o microclima.

Nestas situações, em que existe o condicionalismo do pré-existente, deve-se tentar reiterar o melhor proveito da orientação existente, servindo como referência geral a esta abordagem, que é difícil atenuar o stress térmico de um espaço com orientação Este-Oeste, pelo facto do sombreamento proporcionado pelos edifícios quando dispostos nesta direção ser bastante reduzido.

4.4.3. RELAÇÃO ALTURA/LARGURA

A relação altura/largura (H/L) expressa a relação entre a largura do espaço e as alturas dos edifícios ou outras estruturas verticais que o contornam.

As altas relações H/L correspondem a espaços estreitos (Figura 4.2), enquanto que as baixas relações H/L correspondem a espaços amplos. Ali-Toudert e Mayer (2007a), referem que em geral, quando a relação H/L aumenta a exposição solar diminui e vice-versa.

Apenas para proporções muito baixas, é que a exposição do sol se torna efetiva pelo que, formas alternativas de compensação à elevada exposição solar serão procuradas (sombas).



Figura 4.2 – Exemplo de uma relação H/L elevada (rua estreita). “Rua Mourisca” localizada no centro da vila de Arouca.

Quanto maior a distância entre as fachadas, menor será a influência entre elas e entre a superfície horizontal. Por sua vez, quanto menor a distância entre as fachadas, mais provável é que se influenciem entre si assim como, a superfície horizontal entre elas. Consequentemente, quanto maior o espaço, maior a energia radiante dissipada.

O aprisionamento de energia dentro de um espaço leva a que o microclima aqueça progressivamente à medida que o dia avança. O princípio subjacente a este fenómeno está relacionado com o facto de os diferentes elementos superficiais de um espaço apresentarem propriedades energéticas diferentes, levando a interações mutuas por troca radioativa (Arnfield, 2003).

Assim, deve-se ter em consideração a quantidade de radiação solar direta que atinge um espaço e as propriedades físicas dos materiais de revestimento existentes, uma vez que estes determinam a capacidade de armazenar e libertar calor.

4.4.4. CORES

A cor é uma propriedade extrínseca de materiais, isto é, os materiais em si não possuem a propriedade de cor, uma vez que a cor é completamente dependente da distribuição espectral da luz incidente (Addington e Schodek, 2005).

Apenas os irradiadores primários ou as fontes de luz natural, como o sol, fogo ou lâmpadas, possuem cor própria. No entanto, as cores como propriedades extrínsecas dos materiais afetam o microclima de um espaço. Por exemplo, espera-se que uma pessoa se sinta mais quente num espaço com um esquema de cores predominantemente vermelho, enquanto num espaço predominantemente azul deva sentir-se mais fria (Fanger, 1972).

Associado às cores encontra-se também o albedo (abordado no ponto 4.4.6.4), na medida em que, a cores claras (frias) correspondem valores de albedo elevados enquanto que, a cores escuras (quentes) correspondem valores de albedo baixo e, portanto, maior absorção da radiação solar.

Posto isto, e tendo em conta que a radiação que atinge as fachadas e o solo são refletidas dentro de um determinado espaço, é notória a influência das cores na determinação do microclima de um determinado espaço público.

Para Pomerantz, Akbari et al. (1999), a conversão de cores escuras em cores claras pode ser incluída na gama de estratégias para combater a ilha de calor urbano.

4.4.5. FUNÇÃO / TIPOLOGIA

A tipologia de um espaço público refere-se à configuração que o mesmo apresenta e que o caracteriza, ou seja, tipo de pavimentos, ruas restritas a trânsito, praças, espaços comerciais, jardins, entre outros.

Estes devem estar intimamente relacionados com a função a que se destinam, pelo que, as características físicas e estratégias adotadas para estes espaços devem ser as adequadas para proporcionar um microclima atento à função que o espaço deve receber.

O grau de permeabilidade, os materiais, a quantidade e o tipo de vegetação, a densidade e a presença de elementos de água são outros fatores que as estratégias adotadas devem estabelecer relação. Por exemplo, uma praça e um jardim assumem funções distintas e, portanto, os elementos morfológicos que os constituem irão dar origem a espaços distintos.

4.4.6. MATERIAIS

4.4.6.1. Considerações gerais

Os materiais utilizados na construção possuem uma série de parâmetros que devem ser considerados em projetos de arquitetura e design urbano. Os parâmetros relativos à humidade e os parâmetros óticos são os mais relevantes para o microclima dos espaços públicos exteriores, nomeadamente as propriedades:

- Permeabilidade à água (parâmetros relacionados com a humidade);
- Reflexão / albedo e emissividade (parâmetros óticos).

Estas propriedades são as responsáveis por governarem os mecanismos de troca de calor na superfície de um espaço através dos mecanismos de condução, convecção e radiação que ocorrem ao nível do revestimento exterior dos edifícios.

Assim, através da escolha adequada dos materiais para um determinado espaço, pode ser possível reduzir a capacidade de estas superfícies armazenarem calor e também aumentar a capacidade de libertarem o calor acumulado com maior facilidade, contribuindo desta forma para a redução do stress térmico e consequentemente para a melhoria das condições de conforto térmico.

Romero (2001) refere que é possível moldar um espaço através dos seus materiais. As propriedades permeabilidade à água, emissividade e a reflexão são abordadas com maior detalhe de forma a entender as razões pelas quais estas propriedades estão subjacentes a essa afirmação.

4.4.6.2. Permeabilidade à água

A permeabilidade à água determina a capacidade que um material apresenta para permitir que a água penetre nos seus poros, determinando assim o seu teor de humidade que é um dos parâmetros mais importantes para o arrefecimento evaporativo.

Este parâmetro assume particular importância para os materiais utilizados no revestimento dos solos quando comparado com a sua aplicação no revestimento de fachadas, uma vez que a finalidade a atingir é bem diferente pois, a permeabilidade à água dos pavimentos do solo é benéfica para o microclima dos espaços públicos enquanto que para o revestimento de fachadas esta deve representar uma autêntica barreira à propagação e proliferação da água para o seu interior, mantendo as condições de conforto e não comprometendo a integridade física das mesmas.

Deste modo, numa perspetiva de melhoria microclimática, são desejáveis superfícies de solo permeáveis em detrimento de superfícies impermeáveis, na medida em que permitem que a água seja gradualmente absorvida e evaporada e, com isso, remover quantidades substanciais de calor (Taylor e Guthrie, 2008).

A perda de água por evaporação irá reduzir a humidade do mesmo e consequentemente, a temperatura do ar na camada adjacente ao solo também será reduzida (Geiger, 1950). Ao ser libertado o calor latente armazenado no solo, este ficará mais frio e irradiará menos energia térmica para a camada de ar perto do solo. Neste contexto, as superfícies permeáveis ao permitirem a penetração e o armazenamento de água, leva a que ocorra o arrefecimento da camada de ar perto do solo devido aos processos de convecção e evaporação, contribuindo desta forma para espaços públicos termicamente mais equilibrados.

4.4.6.3. Emissividade

A emissividade é o parâmetro que descreve o calor irradiado por uma superfície quando comparada com um “corpo negro” à mesma temperatura (Hegger, Auch-Schwelk et al., 2006).

A radiação incidente num corpo pode ser refletida, absorvida e transmitida. Um “corpo negro” é aquele que se caracteriza por absorver toda a radiação que sobre ele incide.

Para um mesmo valor de reflectância, materiais de baixa emissividade mantêm uma temperatura superficial mais elevada no solo do que materiais de alta emissividade (Bretz, Akbari et al., 1998).

Poderá dizer-se então que, materiais de alta emissividade podem ser benéficos para o microclima de espaços públicos exteriores, especialmente quando associados a valores de elevada reflectância.

4.4.6.4. Reflectância / albedo

Albedo é o parâmetro que se refere à parte da luz que incide no corpo e é refletida de volta aos arredores sem ter sido anteriormente absorvida (Hegger, Auch-Schwelk et al., 2006).

O albedo de uma superfície depende do comprimento de onda da radiação recebida, da elevação do sol e da natureza da superfície (Alexandri, 2005). Um albedo de 0,30, por exemplo, significa que 30% da radiação solar que atinge uma superfície é refletida e 70% da mesma absorvida pela superfície (Cortesão, 2013).

Segundo Romero (2001), e de certa forma fazendo parte do conhecimento empírico, sabe-se que a cores claras estão associados baixos valores de absorção de radiação solar enquanto que a cores escuras estão associados valores elevados. Por essa razão, pode dizer-se que o albedo das superfícies desempenha um papel determinante nas temperaturas das camadas de ar perto do solo pois, para valores de alto albedo, os materiais absorvem menos radiação solar, aquecem menos e naturalmente irradiam menos calor para a camada adjacente, contribuindo para condições mais agradáveis de conforto térmico durante o verão.

Como referência geral, a valores de albedo elevados (entre 0,50 e 0,90) correspondem materiais como mármore, gesso branco, cascalho, tinta branca. A valores de albedo médio (entre 0,20 e 0,50) materiais como por exemplo, betão, pedra, tijolo, madeira, plantas, solo seco, areia e, a valores de albedo baixos (entre 0,05 e 0,20), materiais como o asfalto, ardósia, ferro, água e tinta preta.

Para além do efeito direto na redução da temperatura da superfície, a utilização de materiais de alto albedo também contribui para a redução da temperatura média radiante.

Dadas as suas particularidades, e conforme referido por Plumley (1977), é evidente que o albedo de superfícies sombreadas é irrelevante.

4.4.7. VEGETAÇÃO

4.4.7.1. Considerações gerais

Enquanto que alguns dos parâmetros associados aos materiais governam os mecanismos de troca de calor nas superfícies do espaço, a vegetação pode reduzir a quantidade de radiação solar direta que atinge as superfícies do espaço e favorece o arrefecimento evaporativo. Os parâmetros biofísicos de sombreamento e a evapotranspiração estão subjacentes a esses fatos. Como Rosenfeld, Akbari et al., (1995) referem, as árvores arrefecem os arredores protegendo superfícies e aumentando a evapotranspiração.

Os benefícios da vegetação para as áreas urbanas são inúmeros. Giovani (1998) elaborou uma abrangente lista de vantagens resultantes da implementação de vegetação e áreas verdes em centros urbanos, das quais se apresentam as que se demonstraram mais relevantes:

Melhoria do clima urbano:

- Melhoria do clima urbano em geral;
- Fornecimento de sombra ao longo de ruas e locais quentes;
- Melhoria da ventilação natural urbana;

Funções ecológicas urbanas:

- Redução da poluição do ar;

- Redução do impacto do ruído gerado pelo tráfego e outras atividades;
- Retenção e absorção de águas pluviais;
- Contribuição no controlo de inundações;
- Proteção da flora e fauna naturais;

Funções sociais/psicológicas:

- Permitem criar parques de lazer agradáveis para todas as faixas etárias;
- Permitem criar locais para a prática de desporto;
- Permitem criar locais de reunião;
- Fornecem a possibilidade de isolamento e fuga à monotonia;
- Enriquecem a estética paisagística de uma cidade;

Desenvolvimento e serviços urbanos:

- Determinam e orientam a expansão urbana;
- Separação entre áreas de uso de terra incompatível;
- O Separação territorial entre bairros onde tal separação é desejável;

Focando os benefícios da implementação de vegetação para o clima urbano, os quais são relevantes para o tema e, segundo Dimoudi e Nikolopoulou (2003), através dos parâmetros biofísicos da vegetação, é possível refletir a radiação solar (criando sombra), promover o arrefecimento (através da evaporação) e reduzir e difundir a velocidade do vento, contribuindo para a melhoria do microclima.

Gomez, Jabaloyes et al., (2004), referem que dependendo da quantidade de radiação solar e das características de cada espécie, como ramos, forma, distribuição, densidade da folhagem e características da foliação, da radiação solar que atinge a superfície da Terra (100%), uma árvore "absorve entre 5 e 20% para fotossíntese, reflete 5-20%, dissipa 20-40% por evapotranspiração, emite 10-15% e transmite 5-30%".

Devido a estas propriedades, a implementação de vegetação e espaços verdes em meios urbanos constitui uma estratégia económica na melhoria do microclima, operando muitas vezes como "corretor" e "atenuador" de condições climáticas indesejáveis.

A este respeito Mascaró e Mascaró (2002) referem que a vegetação "ameniza a radiação solar nas estações quentes, através da sombra; reduz a carga térmica recebida pelos edifícios, veículos e peões; modifica a velocidade e direção dos ventos; atua como barreira acústica; reduz a poluição do ar através da fotossíntese e da respiração".

Posto isto, é importante compreender a relação entre o ambiente e o papel específico da vegetação, bem como todas as características individuais das plantas, pois só desta forma é possível projetar corretamente (Peretti, Marino et al., 2005).

A vegetação deve ser utilizada para proporcionar sombreamento quando este é necessário, atenuando, assim, os efeitos da radiação solar. Pode também atuar como um filtro das radiações absorvidas pelo solo e pelas superfícies construídas, arrefecendo os ambientes próximos, uma vez que a folhagem das árvores atua como defesa protetora das superfícies que se localizam imediatamente abaixo e nas proximidades (Figura 4.3).

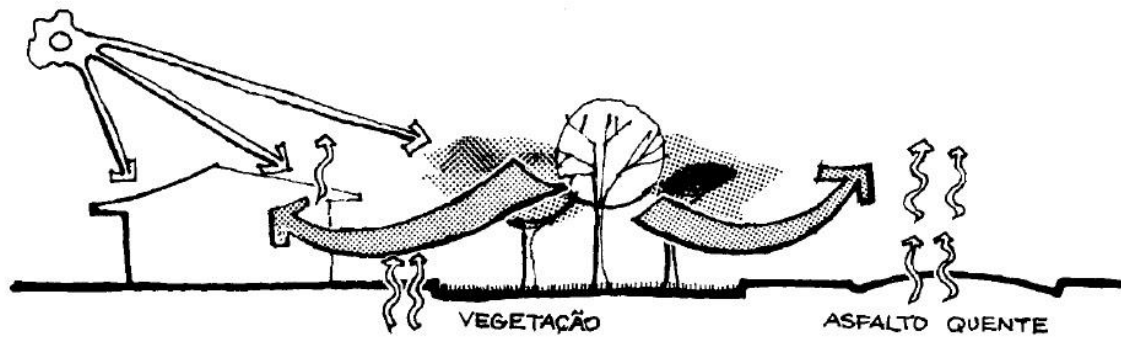


Figura 4.3 – Efeito refrescante provocado pela vegetação. Fonte: Romero (2013).

4.4.7.2. Sombreamento

O sombreamento é uma propriedade física das árvores de acordo com a qual a radiação solar direta que atinge qualquer conjunto de árvores é refletida, absorvida pela folhagem ou transmitida para o solo, no entanto, afetada a sua proporção e composição espectral, chegando ao mesmo (solo) como radiação difusa (Oke, 1987).

A capacidade de as árvores reduzirem a radiação solar direta que atinge o solo depende de parâmetros como densidade, altura, espécie ou ângulo de incidência solar.

O sombreamento é conveniente não só para o microclima dos espaços públicos exteriores, mas também para os espaços interiores, uma vez que as plantas interceptam a radiação solar antes desta atingir os edifícios (Akbari, Pomerantz et al., 2001), ajudando a controlar a radiação térmica dessas superfícies e desta forma diminuir a quantidade de calor irradiado para as suas envolventes.

4.4.7.3. Evapotranspiração

A evapotranspiração é uma função biológica comum a todas as plantas que consiste na perda de água para a atmosfera através da evaporação e transpiração (Santamouris, 2001).

A transpiração é um processo que as plantas realizam continuamente para viver e consiste na perda de água sob a forma de vapor através dos poros das suas folhas. Já a evaporação ou arrefecimento por evaporação ocorre devido ao ar quente que circula junto da superfície das folhas, que se encontram húmidas e absorvem parte do calor contido no ar e evaporam-no, arrefecendo o mesmo. Geiger (1950), afirma que a quantidade de evaporação realizada depende da temperatura a que se encontra a superfície de evaporação, e não da temperatura do ar.

4.4.8. ELEMENTOS ARQUITETÓNICOS

Os elementos integrantes dos edifícios que fazem fronteira com os espaços públicos desempenham um papel importante no microclima do espaço, na medida em que constituem proteção contra as variáveis climáticas. Soluções como galerias, colunas, arcadas, saliências de edifícios ou outros elementos semelhantes, podem ajudar a melhorar as condições de conforto térmico, proporcionando proteção contra a excessiva exposição à radiação solar (Swaid, Barel et al., 1993).

Embora em parte estes elementos sejam determinados pela arquitetura e não pelo design urbano, quando combinados com conceitos de design urbano bioclimático (abordado seguidamente) potenciam

a que se desenvolvam estratégias de melhoria do microclima de espaços públicos e até mesmo do interior dos edifícios.

4.4.9. REVESTIMENTO DE SUPERFÍCIES OU TIPO DE PAVIMENTOS

O revestimento de superfícies interfere diretamente no clima urbano na medida em que as torna mais ou menos impermeáveis. É característico dos espaços urbanos que estes sejam mais impermeáveis do que os espaços rurais devido à própria urbanização que irá alterar o solo original.

Estas alterações terão influência nas propriedades térmicas solo. Para Mascaró (1996), a impermeabilização pode causar o aumento da temperatura do ar nessas áreas, a redução da humidade do ar, a diminuição da evaporação na área urbana e a acumulação da radiação térmica na estrutura urbana.

Para além do revestimento em si, o material ou o tipo de pavimento utilizado terão influências distintas sobre a temperatura do ar, tendo em conta as suas propriedades de reflexão, absorção e emissão.

Conforme citado por Mendes (2013), um estudo realizado por Aseaeda, et al., (1993) demonstrou a importância que o tipo de pavimento tem nas alterações da temperatura do ar. O estudo demonstrou que os pavimentos em asfalto, devido aos elevados níveis de absorção de radiação solar, acumulam e armazenam elevadas temperaturas durante o dia, as quais emitem durante a noite contribuindo para o aquecimento do ar.

4.4.10. ELEMENTOS DE ÁGUA

Os elementos de água podem ter um impacto significativo no microclima dos espaços públicos na medida em que, através da sua evaporação contribuem para o arrefecimento da temperatura do ar envolvente. Estes podem ser integrados nos meios urbanos de diferentes formas como por exemplo, lagos, fontes, chafarizes, entre outras.

No entanto, independentemente da solução específica de integração de elementos de água em espaços públicos, estes quando combinados com estratégias de ventilação podem arrefecer as temperaturas do ar (Nikolopoulou, 2004).

Assim, a utilização destes constitui uma estratégia de arrefecimento evaporativo que deve ter em conta o seu dimensionamento e posicionamento no espaço. Se há estratégia da combinação destes elementos com a ventilação, se acrescentar a implementação de vegetação no espaço envolvente, o efeito benéfico dos elementos de água para a área limitada será acentuado (AAVV, 2001).

Taylor e Guthrie (2008) referem também que devido à água geralmente se encontrar temperaturas inferiores comparativamente com as superfícies vizinhas, estes elementos contribuem da redução da temperatura média radiante e melhoria do conforto térmico.

4.4.11. DISPOSITIVOS DE SOMBRA DE ESPAÇOS PÚBLICOS

Estes elementos, embora não integrem o ambiente construído propriamente dito, surgem como alternativa para colmatar as combinações dos elementos anteriormente descritos de menor eficácia, ou seja, se a morfologia de um determinado espaço público, a sua orientação, os seus materiais e a combinação dos restantes elementos não permitirem obter espaços suficientemente confortáveis ou,

até mesmo para o aumento da sensação de conforto, terá que se recorrer a este tipo de dispositivos que são usualmente utilizados em espaços públicos.

Quando adequadamente projetados e posicionados, os dispositivos de sombreamento "podem efetivamente controlar a radiação direta do sol e bloquear parcialmente a radiação difusa e refletida" (Stack, Goulding et al., 2001).

Estes assumem-se como uma oportunidade de adaptação em espaços públicos beneficiando da facilidade de mobilização, mas em contrapartida de reduzida escala. São exemplos destes dispositivos os "Guarda-sol" que normalmente se utilizam nas esplanadas dos cafés.

Salienta-se que a vegetação, quando planeada corretamente, pode reduzir consideravelmente a necessidade de dispositivos de sombreamento externos.

4.5. DESIGN URBANO BIOCLIMÁTICO

O design urbano bioclimático descreve-se com uma forma de urbanismo preocupada em minimizar o impacto negativo da urbanização no ambiente, adaptando cada situação às condições locais únicas de clima e território (Higuera, 2006).

Este conceito de design urbano não é capaz de resolver todos os problemas ambientais, no entanto, pode ser aplicado de forma a conjugar características de um determinado espaço, como a relação altura/largura, cores, recursos hídricos, materiais de revestimento, entre outros, que permitam criar espaços exteriores urbanos de elevada capacidade de atracção e retenção de pessoas através do controlo de aspetos negativos e otimização de aspetos positivos dos climas urbanos

O design urbano bioclimático é a forma de conceber espaços públicos comprometidos com a mediação entre o homem, o clima e o ambiente (Cortês, 2013), na qual se consideram os microclimas urbanos como um parâmetro fundamental para a criação de espaços públicos de alta qualidade.

4.6. OBSERVAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi apresentada uma breve visão geral sobre a natureza dos microclimas, os principais elementos intervenientes na sua definição e as propriedades dos materiais e da vegetação que estão na base desta. A informação apresentada fornece algumas das noções centrais para o desenvolvimento de metodologias que permitam apoiar propostas de adaptação em áreas urbanas com base em características morfológicas, em materiais e vegetação.

Mostrou-se que o microclima de um espaço público externo é um conceito complexo baseado na interação entre as variáveis climáticas e os elementos morfológicos dos espaços públicos.

Dos elementos abordados, os materiais de revestimento e a vegetação assumem-se como elementos primordiais, uma vez que intervenções em áreas urbanas compactas não apresentam a mesma flexibilidade que intervir em áreas de expansão urbana.

A capacidade dos materiais para armazenarem o calor, e a quantidade de radiação solar direta que atinge um espaço são determinantes para um microclima e estão diretamente relacionadas com as propriedades físicas dos materiais de revestimento e das propriedades biofísicas da vegetação.

Os materiais e a vegetação podem ajudar a aproveitar ao máximo as estruturas existentes no que diz respeito ao fornecimento de condições para o conforto térmico. Os materiais, na medida em que permitem a redução da capacidade das superfícies armazenarem calor ou potenciar as suas capacidades para libertar o calor absorvido. Segundo Romero (2001), é possível moldar o clima de um espaço através de seus materiais. Já a vegetação, através dos seus parâmetros biofísicos, reduzindo a quantidade de radiação solar direta que atinge as superfícies do espaço e favorecendo as perdas de calor por arrefecimento evaporativo.

5

CASO DE ESTUDO

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será realizada uma breve apresentação e descrição do local de estudo selecionado e dos espaços públicos alvos de análise. Será também efetuada a justificação da escolha dos mesmos na medida em que nos permitirá obter os resultados esperados.

É ainda apresentado o programa utilizado como ferramenta de estudo (“Envi-met”), descrito o seu modelo de funcionamento e algumas das suas potencialidades bem como, a demonstração dos diferentes procedimentos que foram necessários para o manuseamento do mesmo.

Pretende-se então, para os espaços públicos selecionados, efetuar variações paramétricas e analisar a influência resultante mantendo como alvo de observação as mesmas variáveis microclimáticas, permitindo desta forma relacionar o impacto dessas mesmas variações assim como, a forma como se manifestam em diferentes tipologias de espaços públicos.

Por fim, serão tecidas algumas considerações empregues para a obtenção dos resultados que permitem cooperar na perceção da análise dos mesmos efetuada no capítulo seguinte.

5.2. APRESENTAÇÃO DO LOCAL

O local de estudo selecionado situa-se na vila de Arouca (Figura 5.1), distrito de Aveiro, pertencente à área metropolitana do Porto, a norte de Portugal continental (Latitude = 40,92, Longitude = -8.26, Altura = 270m). Segundo a classificação de koppen, apresenta clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente (Fonte: IPMA).

O local selecionado deve-se ao facto de o autor ser natural desta região, facilitando desta forma a obtenção de dados necessários para o desenvolvimento do estudo bem como, potenciando a capacidade de perceção, análise e representação de certos parâmetros.



Figura 5.1 – Localização geográfica do local de estudo no mapa de Portugal Continental. (Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Arouca>)

Sendo a análise do conforto térmico dos espaços públicos o principal objetivo deste estudo, torna-se imprescindível referir a sua definição, que se assume simples em relação à sua delimitação física no meio urbano e simultaneamente complexa em relação ao seu significado social e simbólico. Assim, apresentam-se as visões de diferentes autores:

Brandão, Carrelo et al., (2002), refere que o espaço público pode ser definido como toda a área de acesso livre e uso coletivo normalmente aberto e não construído.

Krier (1979) oferece uma perspetiva simples sobre a definição de espaços públicos que, sem considerar critérios estéticos, é que os espaços públicos são "todos os tipos de espaço entre edifícios em cidades e outras localidades".

Hertzberger (2009), complementa e aprofunda as definições globais apresentadas e afirma que os espaços públicos são áreas urbanas acessíveis a todos em todos os momentos e cuja responsabilidade de manutenção é partilhada coletivamente, contrariamente aos espaços privados cuja acessibilidade é determinada por um grupo ou por uma pessoa, responsáveis pela manutenção do espaço.

Desta forma, o conceito de espaço público fica bem elucidado, importando ainda fazer referência à distinção entre diferentes tipologias de espaços públicos, ou seja, espaços públicos de permanência, que se destinam a proporcionar espaços para descanso e lazer das pessoas onde normalmente há uma maior preocupação com o conforto do utilizador (locais onde se podem encontrar mobiliário urbano, como por exemplo, praças, alamedas, jardins) e espaços públicos de passagem em que, embora sejam de acesso público não existem tantas preocupações com o conforto e bem-estar dos utilizadores.

Assim, tendo em conta o referido, foi selecionado um local que engloba três espaços públicos de permanência (duas praças e uma alameda), que apresentam continuidade entre si e naturalmente se encontram envolvidos e conectados por espaços públicos de passagem. Por esse motivo, estes espaços foram considerados o cenário ideal para o estudo que se pretendeu efetuar, na medida em que são

espaços em continuidade visual e física, apresentam uma topografia praticamente plana, uma orientação oeste-este, as mesmas alturas médias construídas no seu redor, a mesma densidade e características morfológicas idênticas (por exemplo, cores, materiais de revestimento). Relativamente ao acesso e circulação de peões, estes espaços também são análogos.

Apresenta-se na Figura 5.2 uma vista aérea do local de estudo selecionado onde são identificados os três espaços públicos de permanência que serão alvo de análise.



Figura 5.2 – Vista aérea do local de estudo selecionado e identificação dos espaços públicos de permanência.

5.2.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

5.2.1.1. Local 1 - Alameda Dom Domingos de Pinho Brandão

Este espaço é caracterizado pela sua elevada afluência devido à diversidade estabelecimentos e serviços que nela se localizam, assumindo-se também como um local de transição para outros locais de elevada atratividade. Possui passeios pedonais e uma estrada alcatroada em todo o seu contorno, uma zona central constituída por estacionamento automóvel, bem como uma reduzida zona verde de lazer, composta por mobiliário urbano (bancos) e algumas árvores de porte médio e folha caduca.

É importante referir a constante circulação automóvel, embora a velocidade reduzida, fator que aumenta a concentração de poluentes no local e que tem impacto nas condições térmicas.



Figura 5.3 – Identificação do local 1 – “Alameda Dom Domingos de Pinho Brandão”.

5.2.1.2. Local 2 - Praça das Laranjeiras

Caracteriza-se por um espaço público reservado, onde apenas é possível o acesso pedonal. É rodeado por edifícios, pavimentado por calçada de granito, onde se integra mobiliário urbano (bancos) e árvores de pequeno porte (laranjeiras).



Figura 5.4 – Identificação do local 2 – “Praça das Laranjeiras”.

5.2.1.3. Local 3 - Praça Brandão de Vasconcelos

Praça central, adjacente ao convento de Arouca que integra diversos cafés e esplanadas, onde decorrem os principais eventos e espetáculos do município. Caracteriza-se, ainda, por ser um local de passagem pedonal e automóvel, e assume-se como um dos principais pontos turísticos e espaço convívio de Arouca.



Figura 5.5 – Identificação do local 3 – “Praça Brandão de Vasconcelos”.

Os espaços públicos descritos devido à sua continuidade, apresentam semelhanças em termos da envolvente e características construtivas, permitindo desta forma contornar uma das adversidades do programa na limitação dos materiais a utilizar na representação e possibilitando a comparação das diferenças nas condições climáticas que apresentam.

5.3. APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA UTILIZADO

O programa utilizado como ferramenta nesta dissertação foi a versão experimental 4 do Envi-met (Figura 5.6), disponível em (www.model.envi-met.com).

O Envi-met é um programa de modelagem microclimática tridimensional de última geração que permite compreender e quantificar as interações existentes entre o “ambiente local construído” e o microclima, assumindo-se assim como uma ferramenta que estabelece a ligação entre a teoria do design urbano bioclimático e a sua aplicação prática, na medida em que permite obter resultados credíveis pois a sua validade foi confirmada com a aplicação em zonas controladas.

Sendo que a versão disponível e utilizada apenas permite aceder às ferramentas básicas do programa, deparou-se com algumas restrições que serão apresentadas em seguida.



Figura 5.6 – ícone do programa utilizado como ferramenta de estudo na dissertação.

Este programa permite simular interações entre vegetação, o ar e as superfícies, sendo uma ferramenta que poderá ser aplicada nas mais diversas ocasiões e áreas, como a climatologia urbana, arquitetura ou planeamento ambiental.

Assume-se como um software que integra a teoria e a prática do design urbano bioclimático e é capaz de simular o fluxo em redor e entre os edifícios, processos de troca de calor e vapor em superfícies urbanas, turbulência, trocas de energia entre a vegetação e seu redor, bioclimatologia e dispersão de partículas.

Fazem parte dos seus parâmetros de entrada as condições meteorológicas, perfis iniciais de humidade do solo e temperatura, estrutura, plantas e propriedades físicas de superfícies urbanas, permitindo através destes, realizar variações e combinações nos diversos cenários a simular.

5.3.1. DESCRIÇÃO GERAL DO PROGRAMA

O programa utilizado é bastante complexo pelo que apenas se apresenta de forma simples o seu modo de funcionamento.

O programa é dividido em vários subprogramas inseridos no “Envi-met 4 Headquarter”, os quais na integra correspondem ao programa “Envi-met”. Apresentam-se na Figura 5.7 e Figura 5.8 as barras de ferramentas onde estes aparecem representados.

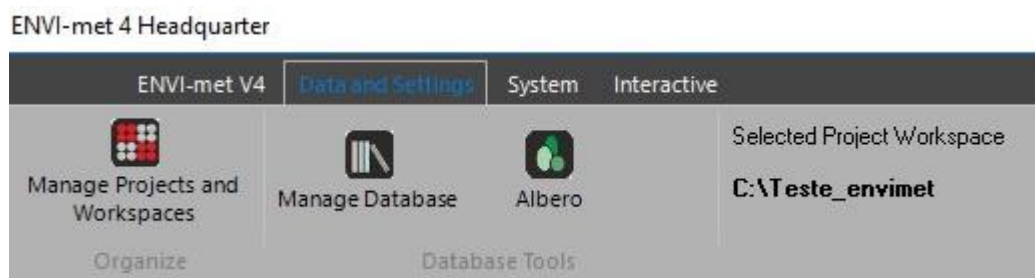


Figura 5.7 – Barra de Ferramentas do Envi-met 4 Headquarter – separador “Data and Settings”.

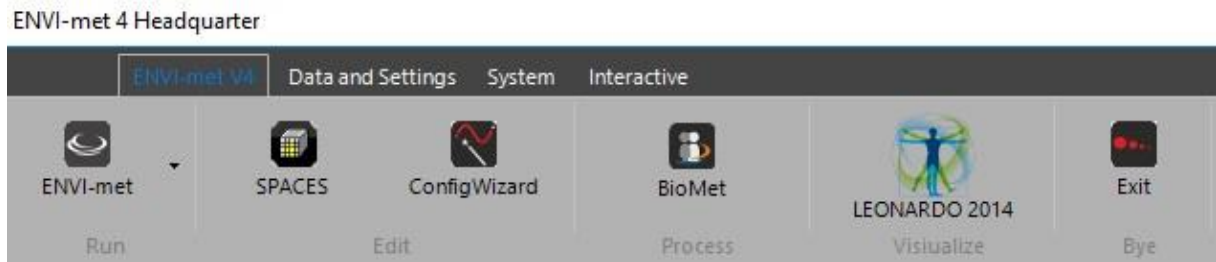


Figura 5.8 - Barra de Ferramentas do Envi-met 4 Headquarter – separador “Envi-met V4”.

- “Manage Projects and Workspaces” – Definição um local de trabalho;
- “Manage Database” – Consulta das características dos materiais;
- “Albero” – Definição de características da vegetação (3D);
- “Envi-met” – Iniciar a simulação;
- “SPACES” – Desenhar área a simular;
- “ConfigWizard” – Inserir dados de entrada;
- “BioMet” – Calculo índices de conforto térmico humano com base em seus dados de simulação;
- “LEONARDO 2014” – Visualizar os dados de saída.

As ferramentas “Albero” e “BioMet” não foram exploradas na presente dissertação.

5.3.2. DIFICULDADES E RESTRIÇÕES DO PROGRAMA

Embora o programa utilizado seja uma ferramenta com bastante potencial e se tenha demonstrado imprescindível à realização do estudo efetuado, tornou-se um dos principais obstáculos a superar pois a sua elevada complexidade requer conhecimentos a nível informático, bem como equipamentos compatíveis e com determinados requisitos de forma a permitir o seu devido funcionamento.

A versão disponível e utilizada na presente dissertação corresponde à versão experimental 4 do programa “Envi-met” a qual apresenta algumas restrições para o utilizador, algumas das quais demonstram-se importantes mencionar para melhor perceção dos próximos passos.

Da experiência obtida com o programa destacam-se as seguintes:

- Área de estudo condicionada a uma grelha de 100 x 100 unidades;
- Materiais disponíveis limitados aos existentes na base de dados do programa;
- Representação 2D e 3D muito limitada;
- Período de tempo de simulação elevados;
- Visualização e exportação de resultados não é prática;

As restrições anteriormente descritas condicionam e consequentemente orientam o estudo. A limitação da área de desenho limita a que o estudo se amplie a maiores áreas, impossibilitando desde logo abranger grandes áreas verdes com espaços públicos desejáveis.

O recurso limitado aos materiais disponíveis no programa aliado às limitações de representação gráfica, diminuem a capacidade de pormenorização e dificultam a representação.

O período prolongado na obtenção de resultados, torna os processos de manuseamento do programa e sensibilidade de análise de resultados mais demorado, na medida em que fragmenta o processo.

Por fim, a visualização individual dos resultados dificulta o processo de análise, levando a que o utilizador proceda ao tratamento dos mesmos de forma autónoma.

5.3.3. CRIAÇÃO DO CENÁRIO A ESTUDAR

O primeiro passo a desempenhar para a utilização do programa é a criação do cenário que se pretende estudar.

De forma a criar um cenário o mais semelhante possível com a realidade, utilizamos a imagem aérea do local como tela de fundo, permitindo criar o espaço sobre a mesma, garantindo uma localização mais precisa dos elementos a criar e mantendo uma relação de distâncias entre eles, conforme é possível verificar na Figura 5.9.

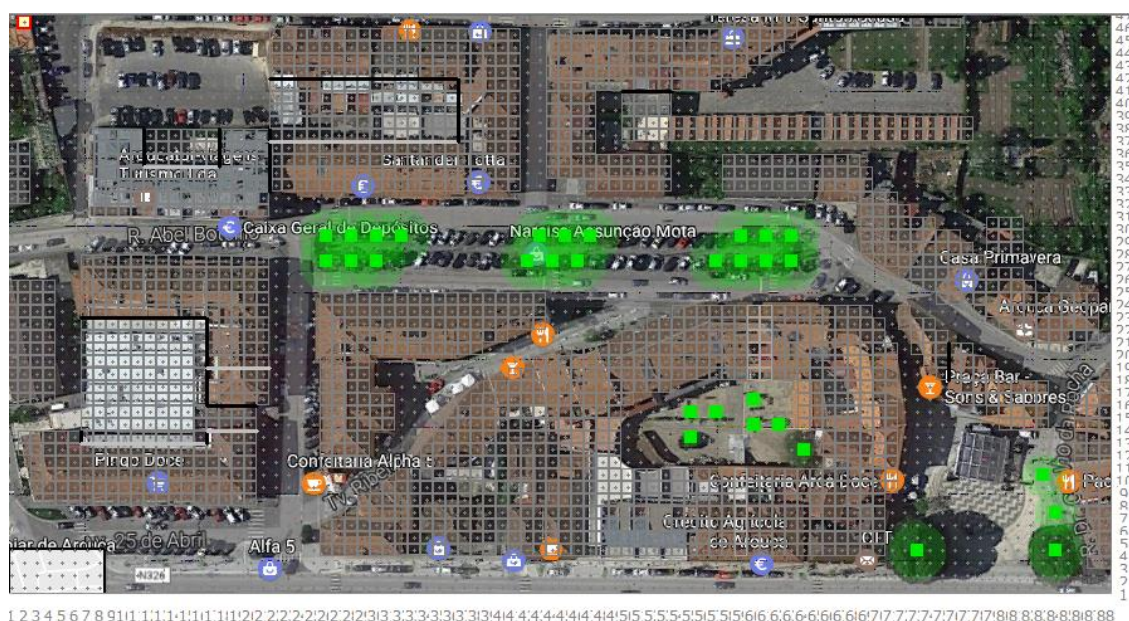


Figura 5.9 – Representação "2D" da criação do cenário a simular.

A representação dos edifícios é efetuada pela inserção de blocos quadrangulares, com uma altura previamente definida pelo utilizador, numa malha quadrada que surge na área de desenho conforme é possível verificar na Figura 5.9.

O facto de a malha de desenho ser composta por uma grelha quadrangular impede a representação de edifícios cuja área de implantação a representar não seja totalmente retangular. Desta forma, para

colmatar esta lacuna, as representações efetuam-se com blocos na diagonal e modo a aproximar o máximo com a implantação real dos edifícios.

Tendo presente que a versão do software utilizada é experimental, a escolha da vegetação representada para alguns locais não corresponde exatamente à espécie que se encontra no local devido a não estar presente na base de dados do programa, no entanto, sempre que possível esta questão foi respeitada e nos casos em que tal não foi possível, fatores como altura da árvore e largura da copa, foram tidas em consideração. Como é possível verificar na Figura 5.9, o quadrado representado a verde representa a localização do tronco das árvores e em torno destes podemos verificar um círculo em tons de verde mais claros que representa o seu sombreamento.

Relativamente à representação dos diferentes pavimentos, o modo de desenho assume-se semelhante ao da representação dos edifícios, ou seja, através do preenchimento da malha quadrada.

Após concluir o desenho é possível converter o mesmo e visualizar em 3D, conforme é possível verificar na Figura 5.10.

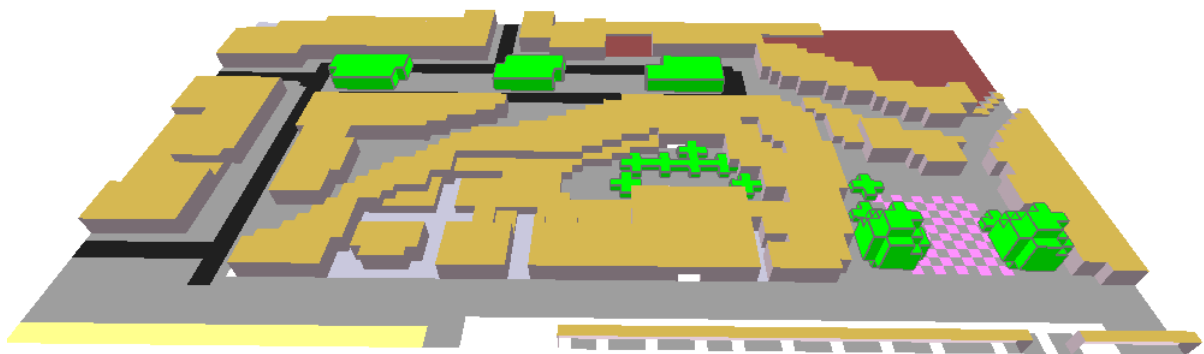


Figura 5.10 – Representação “3D” do cenário de estudo criado no separador “Spaces” do programa Envi-met.

É de salientar que o cenário criado é apenas uma aproximação da realidade, no entanto, tendo em conta as restrições da versão disponível bem como a finalidade meramente académica que se pretende atingir, considera-se suficiente o nível de representação demonstrado.

O cenário/modelo desenvolvido apresentado na Figura 5.10 foi o primeiro a ser criado e serve como referência pois ocupa a máxima grelha de desenho permitida pela versão experimental, tornando a simulação realizada pelo programa bastante demorada.

Após realizar algumas simulações, constatou-se que não só o prolongado tempo para obtenção de resultados, mas também uma análise não muito clara dos mesmos, não estavam a ir ao encontro do pretendido, conforme é possível verificar na figura 5.11.



figura 5.11- Resultado representativo do cenário criado na Figura 5.10.

Então, foram criados três cenários distintos correspondentes aos locais de análise, os quais se apresentam nas seguintes Figura 5.12, Figura 5.13 e Figura 5.14.

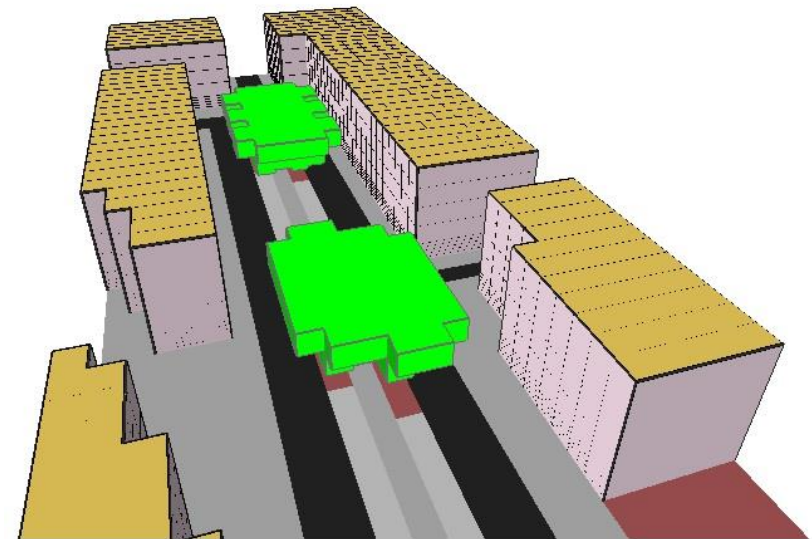


Figura 5.12 - Representação "3D" do local de estudo 1 – "Alameda Dom Domingos de Pinho Brandão".

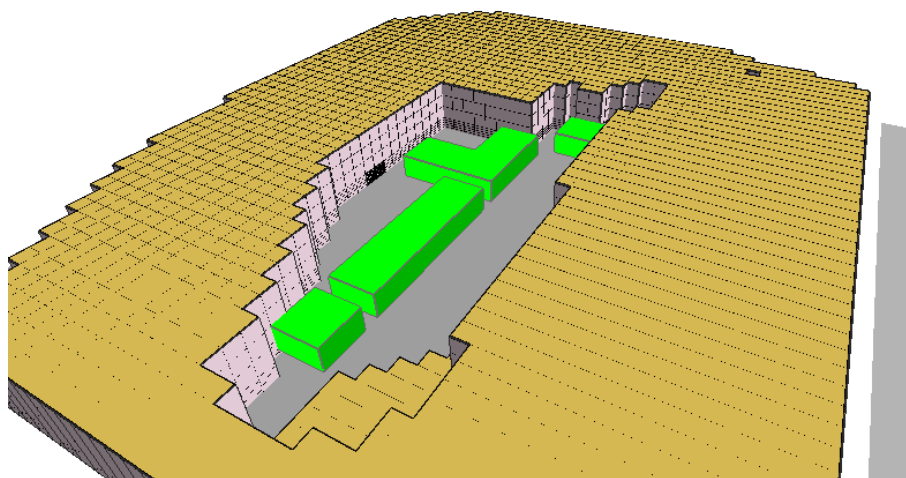


Figura 5.13 - Representação "3D" do local de estudo 2 – "Praça das Laranjeiras".

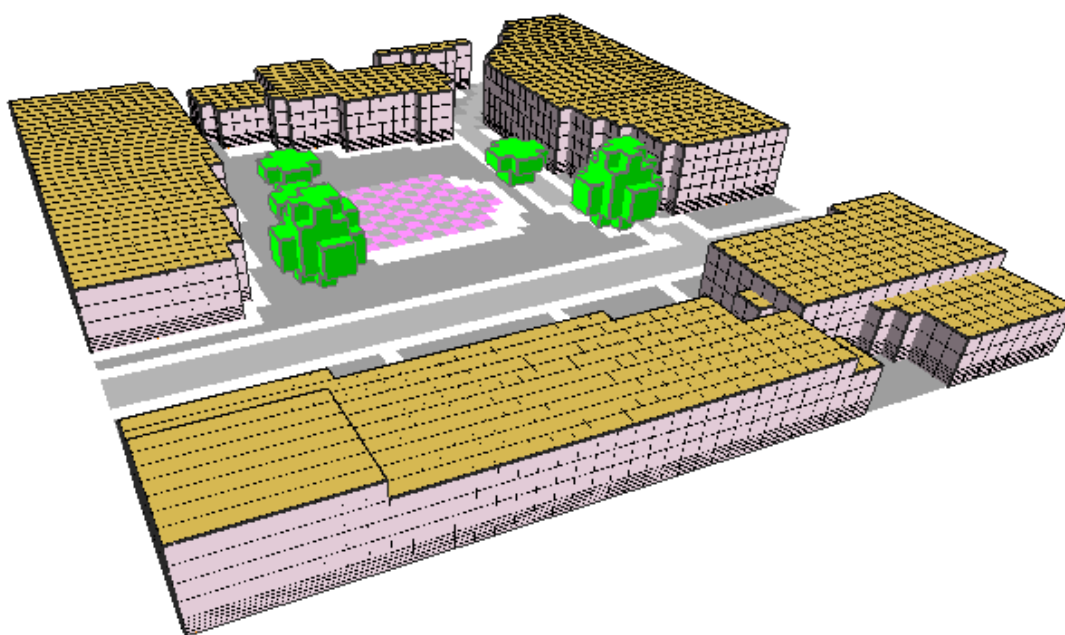


Figura 5.14 - Representação "3D" do local de estudo 3 – "Praça Brandão de Vasconcelos".

5.4. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS PARA A ANÁLISE DOS RESULTADOS

Antes de avançar para a apresentação dos resultados, o autor considera pertinente referir alguns aspetos levados em consideração para as respetivas simulações efetuadas.

As variáveis microclimáticas analisadas, tal como referido no capítulo 3, são as que afetam e influenciam de forma direta a sensação de conforto térmico do ser humano:

- Temperatura do ar;
- Humidade relativa;
- Velocidade do vento;
- Radiação solar direta;
- Temperatura média radiante;

Sendo o conforto térmico o principal foco de análise, as simulações correspondem a um dia de verão, pois é nesta estação que os espaços públicos assumem maior importância e maior afluência por parte das pessoas, que naturalmente reduz no inverno devido às condições adversas como chuva e o frio, permanecendo as pessoas menos tempo nos espaços públicos. No entanto, há que ter presente que as estratégias de maior eficiência na melhoria do microclima urbano para a estação de verão, não devem traduzir inconvenientes para o inverno.

Deve ser tida em consideração que a versão experimental do software utilizado apenas permite a utilização de materiais existentes na base de dados do mesmo, pelo que a seleção dos materiais a utilizar será estratégica de forma a evidenciar tendências consoantes as características de cada material.

Relativamente ao vento, e sendo este um parâmetro tão incerto no tempo em termos de velocidade, direção e sentido, o programa apenas permite assumir uma direção para o mesmo, ou seja, a direção dos ventos dominantes. Assim, o autor, através da Câmara Municipal de Arouca teve acesso aos dados de monitorização da Estação Meteorológica Automática (EMA) gerida pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), instalada relativamente próxima dos locais de estudo, permitindo desta forma obter resultados credíveis relativos aos ventos dominantes no vale de Arouca.

Apresenta-se na Figura 5.15 a rosa dos ventos obtida através dos dados recolhidos pela EMA para um período de 3 anos (de 2014 a 2016) que permite caracterizar a direção dos ventos dominantes para a região de Arouca. Após a análise da rosa dos ventos bem como, da informação mensal detalhada que segue em anexo (Anexo A), é possível constatar que a direção dominante dos ventos exceto para o mês de dezembro, são ventos de Oeste. Assim, será esta a direção considerada como base nas simulações a efetuar, sendo que, a influência da direção do vento considerada será verificada assim como, o impacto provocado nas variáveis de conforto térmico.

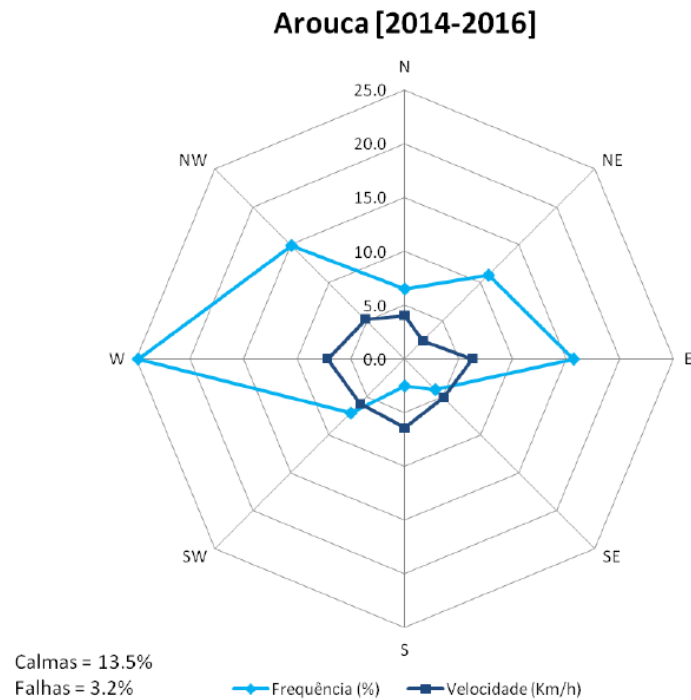


Figura 5.15 – Rosa dos ventos de Arouca para o período de 2014 a 2016. Fonte: IPMA.

De forma a aproximar as condições da simulação à realidade, através da consulta do gráfico apresentado na Figura 5.16, foi possível verificar os valores médios da intensidade da radiação solar a considerar bem como, a partir da análise dos gráficos da Figura 5.17 e Figura 5.18, adquirir uma certa sensibilidade de intervalos de resultados a esperar de forma a testar a fidelidade dos mesmos.

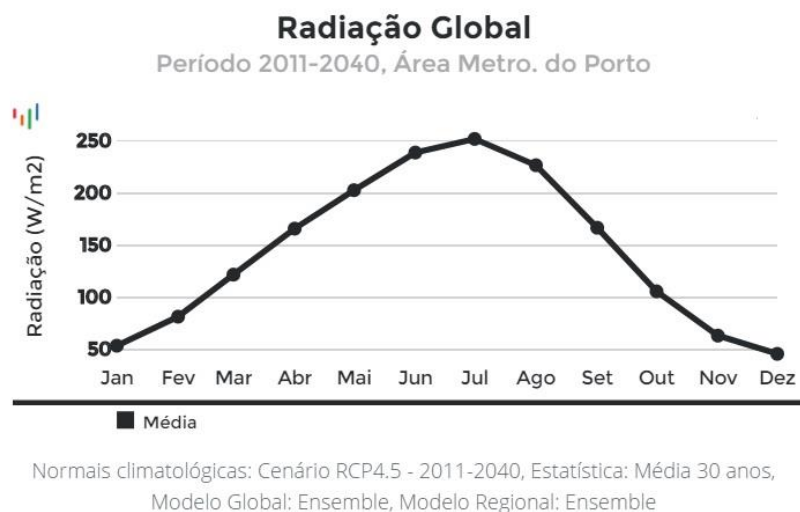


Figura 5.16 – Radiação Global correspondente à área metropolitana do Porto. Fonte: IPMA -Portal do Clima.

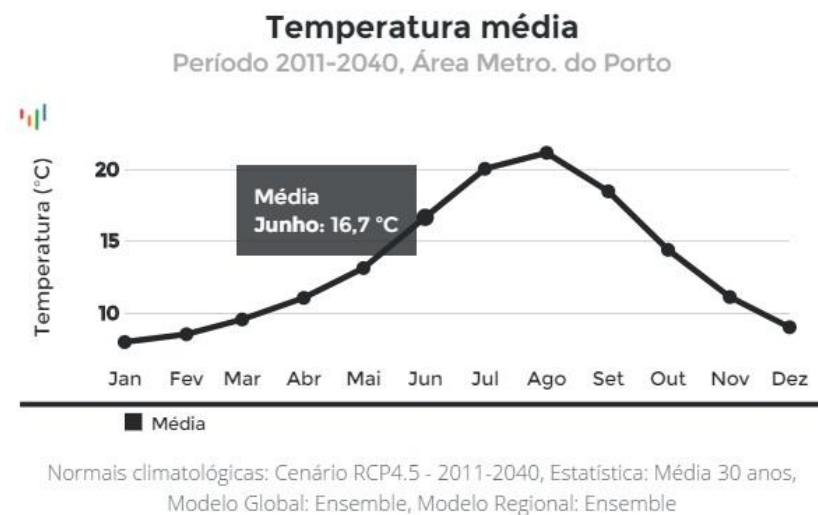


Figura 5.17 – Temperatura média correspondente à área metropolitana do Porto. Fonte: IPMA - Portal do Clima.



Figura 5.18 – Humidade relativa do ar correspondente à área metropolitana do Porto. Fonte: IPMA - Portal do Clima.

6

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo descreve-se o estudo efetuado e o procedimento seguido no tratamento de resultados focando os aspetos mais relevantes da sua análise.

São descritas as diferentes variações paramétricas efetuadas e apresentados sempre que tal se justifique, os gráficos das variáveis de análise correspondentes, estabelecendo possíveis relações entre as mesmas e a justificação dos resultados obtidos.

6.2. SIMULAÇÕES REALIZADAS

6.2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Tendo em conta que o principal foco recai na análise de metodologias de forma a atenuar as temperaturas adversas ao conforto térmico nos espaços públicos, os resultados que se pretendem obter no presente estudo são principalmente comparativos entre os parâmetros a variar, permitindo desta forma evidenciar tendências e possíveis ordens de grandeza.

Inicialmente, e como referido anteriormente, escolheu-se aleatoriamente um dia representativo da estação do verão, mantendo-se esse mesmo dia para todos as simulações efetuadas. Tal como o dia, a escolha de uma hora para a análise dos resultados reforça o aspeto da análise comparativa entre os resultados obtidos, pois, para diferentes horas do dia a análise quantitativa poderá nem sempre ser linear.

Assim, os resultados apresentados correspondem todos às 12h do dia 23 de junho de 2017, um dia escolhido aleatoriamente, permitindo a caracterização da estação de verão e uma hora em que o sol se apresenta aproximadamente a meio da sua trajetória.

É importante realçar que o programa fornece resultados horários, permitindo compreender o comportamento das variáveis em análise ao longo do dia na medida em que permite estabelecer uma relação direta com a trajetória solar, facilitando a análise efetuada que a seguir se apresenta.

Posto isto, tendo em conta que a análise corresponde às 12h, foram efetuadas simulações contínuas com início às 06 horas, abrangendo desta forma todo o efeito provocado desde o nascer do sol.

6.2.2. ANÁLISE E DISCUSSÃO

6.2.2.1. Alameda Dom Domingos de Pinho Brandão

Para o presente local de estudo serão considerados os cenários presentes no Quadro 6.1.

Quadro 6.1 - Identificação dos cenários de estudo para o local 1.

“Alameda 1”	“Alameda 2”	“Alameda 3”	“Alameda 4”	“Alameda 5”	“Alameda 6”
Situação corrente	Substituição do material de revestimento de piso	Revestimento de fachadas 1	Revestimento de fachadas 2	Remoção da vegetação	Aumento da volumetria dos edifícios

6.2.2.2. Influência do material de revestimento do piso

Tendo em conta que este local apresenta uma estrada alcatroada na sua composição, o primeiro ensaio efetuado compreendeu a influência do material de revestimento do piso. Para tal, foi realizada a substituição da estrada asfaltada existente por um material que apresenta o mesmo valor de albedo do asfalto, e um valor superior de emissividade, material este integrante da base de dados do programa e respeitante a um solo “padrão”.

Os materiais apresentam as características apresentadas no Quadro 6.2.

Quadro 6.2 - Dados correspondentes aos cenários “Alameda 1” e “Alameda 2”.

	“Alameda 1” – Estrada com asfalto	“Alameda 2” – Substituição do material de revestimento de piso
Albedo	0.20	0.20
Emissividade	0.9	0.98

É possível verificar através da análise da Figura 6.1, que a temperatura do ar (T_a) para o cenário “Alameda 2” é inferior comparativamente ao cenário “Alameda 1”, resultado da diferença do valor de emissividade que os dois materiais apresentam.

Apresentando o material de revestimento do piso do cenário “Alameda 2” maior emissividade, fará com que este liberte maiores quantidades de calor e apresente uma temperatura superficial do pavimento inferior quando comparado com um material de menor emissividade e igual reflectância, traduzindo-se em valores inferiores de TMR (visível na Figura 6.2).

Os resultados obtidos permitem estabelecer uma relação com o descrito no Capítulo 4, no qual se referiu que materiais de alta emissividade contribuem para a melhoria do microclima de espaços

públicos exteriores, especialmente quando associados a valores de elevada reflectância (elevado coeficiente de albedo). Verificou-se então, que mesmo quando aliados a valores de baixa reflectância (0,20), materiais com elevada emissividade traduzem-se em benefícios para a melhoria do microclima de espaços públicos exteriores.

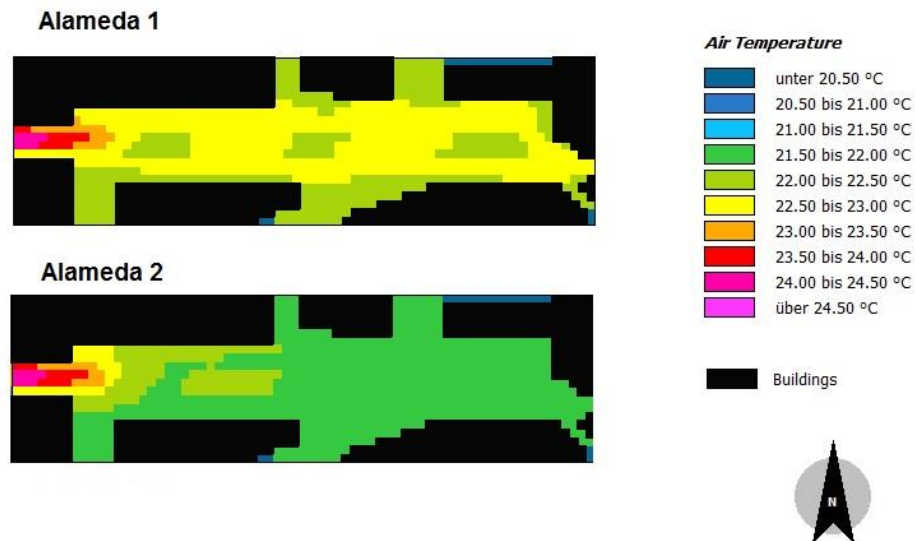


Figura 6.1 – Resultados da Ta (Temperatura do ar) para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 2”.

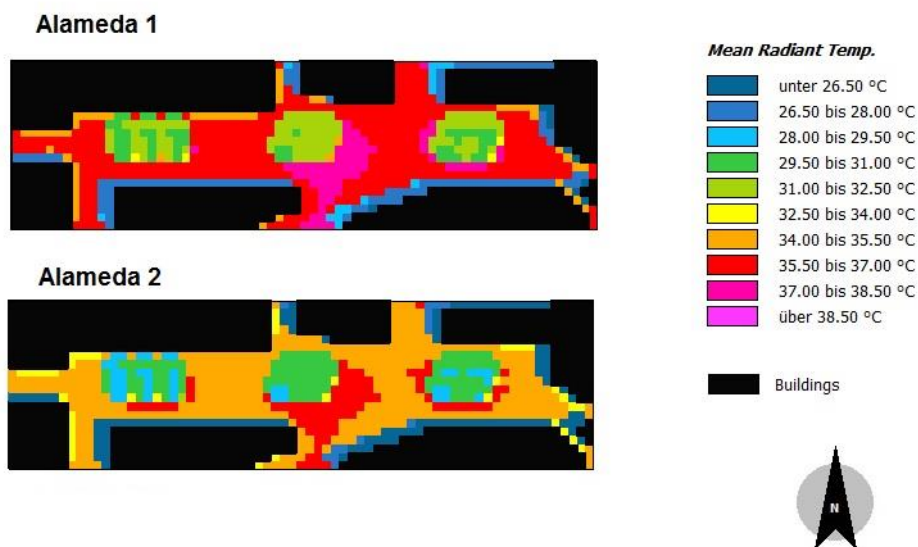


Figura 6.2 -Resultados da TMR (Temperatura média radiante) para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 2”.

Das variáveis em análise, a HR também sofrerá alterações consideráveis com esta mudança. Como seria expectável, com a redução da Ta que ocorre no cenário “Alameda 2” estará aliado um aumento da HR, possível verificar na Figura 6.3, pois ao diminuir a temperatura o vapor de água existente no ar irá aumentar.

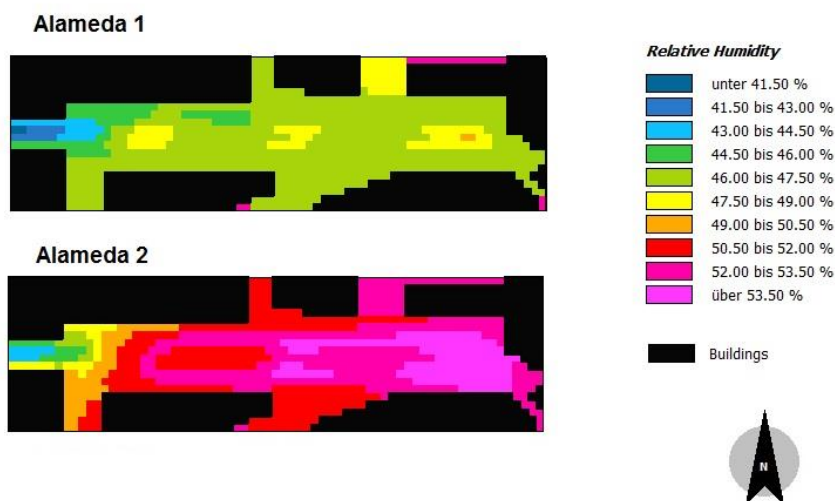


Figura 6.3– Resultados da HR (Humidade Relativa) para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 2”.

6.2.2.3. Influência dos materiais de revestimento das fachadas

Para a análise da influência dos materiais de revestimento das fachadas foram considerados os cenários que se apresentam no Quadro 6.3. Como referido nas considerações prévias do capítulo anterior, apenas foi possível recorrer a materiais existentes na base de dados do programa, pelo que a escolha dos materiais foi efetuada com o intuito de representar superfícies com diferentes poderes de absorção.

De qualquer modo, poderão ser associadas as características dos materiais a soluções de revestimento de fachadas. Assim, a situação corrente corresponderá a fachadas em betão, o material de revestimento aplicado no cenário “Alameda 3” a fachadas rebocadas e pintadas de cor clara enquanto que, o cenário “Alameda 4” corresponderá a fachadas envidraçadas.

Quadro 6.3 - Dados relativos aos revestimentos de fachadas, obtidos no “DB Manager” do programa “Envi-met”.

	“Alameda 1” – Situação corrente	“Alameda 3” – Substituição do revestimento da fachada 1	“Alameda 4” – Substituição do revestimento da fachada 2
Absorção	0.70	0.30	0.05
Reflexão	0.30	0.70	0.05
Transmissão	0	0	0.90
Emissividade	0.90	0.90	0.90

Também referido anteriormente, a radiação solar incidente num corpo pode ser refletida, absorvida e transmitida. Através da análise do Quadro 6.3 podemos verificar que essa condição é acatada, correspondendo a soma dos três parâmetros à quantidade de radiação solar incidente (por exemplo: $0.70 + 0.30 = 1$).

Quanto à emissividade, os três materiais apresentam o mesmo coeficiente, evidenciando que as diferenças que se obterão estarão apenas relacionadas com a variação dos restantes parâmetros.

Do primeiro contacto visual dos resultados correspondentes à Ta apresentados na Figura 6.4, destaca-se a diferença que ocorre no cenário “Alameda 4” comparativamente com os outros cenários. O facto de o material seleccionado para o revestimento das fachadas apresentar um elevado poder de transmissão, fará com que este transmita grande parte do calor absorvido para o interior dos edifícios, tornando-se mais “agradável” para o exterior.

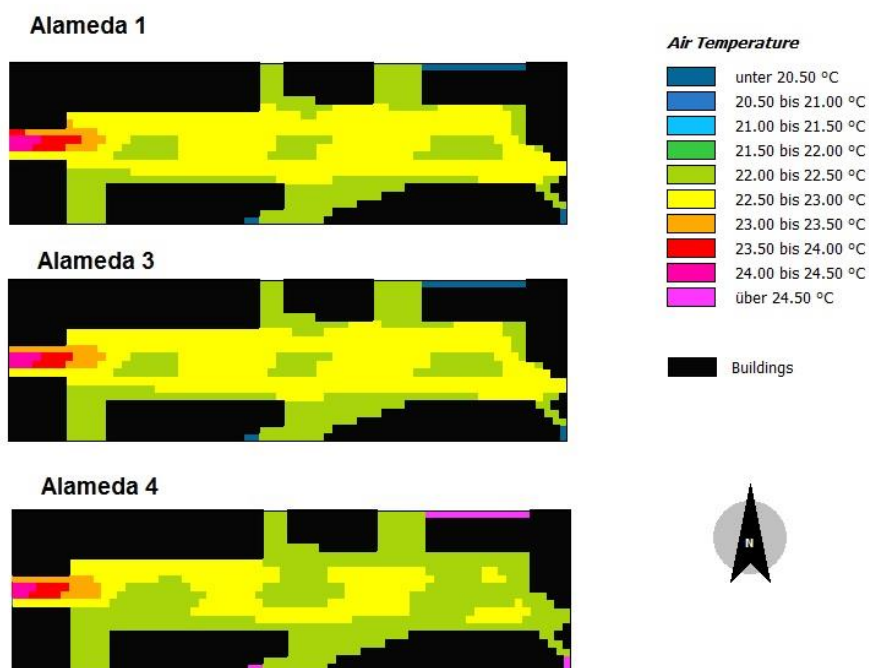


Figura 6.4 - Resultados da Ta para os cenários “Alameda 1”, “Alameda 3” e “Alameda 4”.

Na comparação dos cenários “Alameda 1” e “Alameda 3”, os resultados obtidos não foram os teoricamente expectáveis pois, devido à diferença de absorção e reflexão que os materiais apresentam, o cenário “Alameda 3” deveria demonstrar-se mais favorável para o clima e, no entanto, não apresenta diferenças notórias.

Através dos resultados apresentados na Figura 6.5 verifica-se que a TMR do cenário “Alameda 3” aumenta, o qual apresenta menores valores de absorção no material de revestimento das fachadas e, pelo contrário, deveria contribuir para uma temperatura média radiante inferior pois absorverá menos radiação e aquecerá menos contribuindo com uma temperatura de superfície inferior.

Este desvio nos resultados levou a que se verificasse, se de facto o programa estaria a considerar corretamente os dados introduzidos. Apresenta-se então, na Figura 6.6 os resultados da radiação solar direta refletida para os dois cenários, na qual é possível verificar que efetivamente o cenário

“Alameda 3” apresenta maiores valores de reflexão junto das fachadas dos edifícios e apresenta um comportamento de acordo com as suas características.

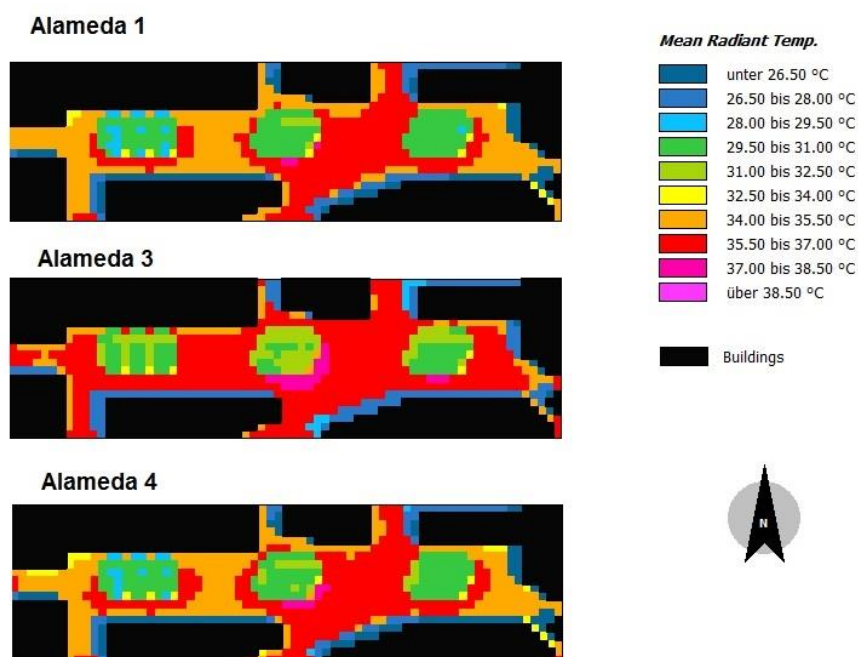


Figura 6.5 - Resultados da TMR para os cenários “Alameda1”, “Alameda 3” e “Alameda 4”.

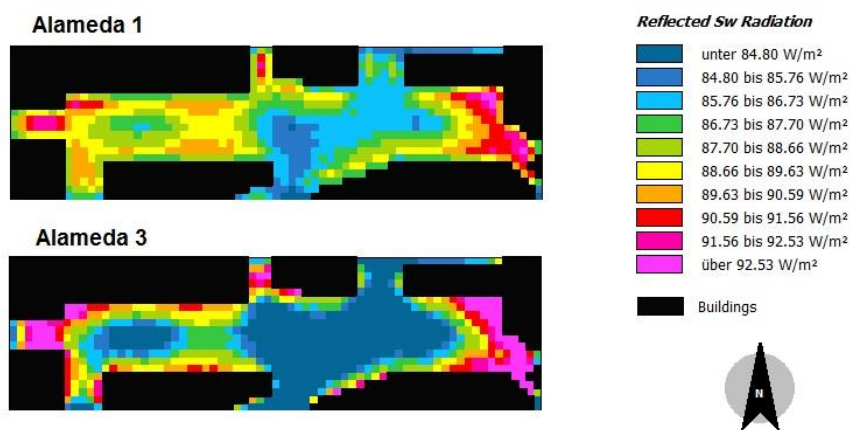


Figura 6.6 - Resultados da Radiação solar refletida para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 3”.

Assim, apresentando o material de revestimento das fachadas do cenário “Alameda 3” maior poder de reflexão, a explicação do aumento da TMR do local de estudo poderá estar relacionada com a envolvente, ou seja, ao possuir maior capacidade de reflexão, as superfícies vizinhas ficam expostas a uma maior quantidade de radiação (em particular o pavimento), potenciando a que estas absorvam maior energia sob a forma de calor e consequentemente tornem a TMR do meio mais elevada.

Os aspetos que conduzem a esta análise relacionam-se pelas zonas onde a TMR se eleva, ou seja, sendo a temperatura média radiante (TMR) uma média de todas as temperaturas de superfície, o facto de junto das fachadas dos edifícios expostas à radiação solar permanecer a uma temperatura inferior à do centro da alameda evidencia o contributo do baixo poder de absorção que estas apresentam (possível verificar no gráfico “Alameda 3” da Figura 6.5).

Tendo em contas as diferenças da capacidade de absorção dos dois materiais, seria expectável que junto das fachadas orientadas a sul (onde ocorre maior incidência da radiação solar), estas apresentassem temperaturas junto da superfície inferiores quando comparadas com o cenário “Alameda 1”, o que não acontece. No entanto, há que ter em atenção que a TMR da envolvente aumentou, estando o local sujeito a novas condições e o facto de nestes locais se apresentarem temperaturas semelhantes ao cenário “Alameda 1”, evidencia o seu contributo para a média das temperaturas de superfície daquela zona.

De forma a poder confirmar e reforçar a análise efetuada, em que se aponta o aumento da TMR do local a uma maior absorção dos materiais da envolvente aquando da substituição dos materiais de revestimento das fachadas por materiais de maior reflectância, procedeu-se à remoção da estrada asfaltada, deixando o solo sem nada, ou seja, sem qualquer dado, uma vez que estamos a lidar com um programa e podemos manipular desta forma o cenário.

Na Figura 6.7 é possível verificar a cor branca as zonas onde foi retirado o asfalto, o qual apresenta um valor de albedo de 0,20 e elevado poder de absorção, que passará a assumir absorção nula com a remoção do revestimento do piso.

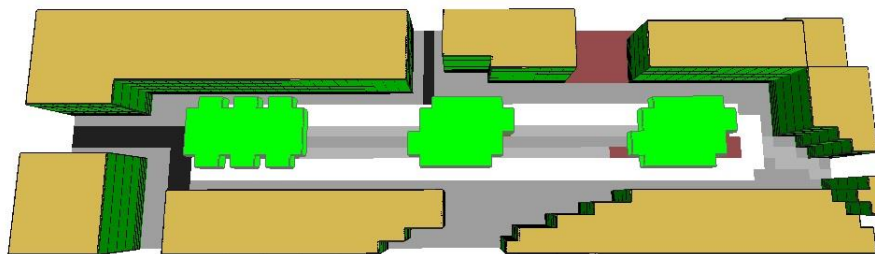


Figura 6.7 - Representação do local onde foi retirado o asfalto.

Demonstra-se então, através dos resultados apresentados na Figura 6.8, que deixando a estrada asfaltada de absorver a radiação solar refletida pelas fachadas, a TMR reduz significativamente, evidenciando que o programa apresenta a sensibilidade de consideração desta ocorrência e que, embora os materiais de valor de albedo elevado contribuam para a melhoria do clima local, terão sempre que ser tidos em consideração os materiais existentes na envolvente pois, para o presente local de estudo, o contributo dos materiais de revestimento de fachadas com alto valor de reflectância, é em grande parte oculto pelos efeitos negativos provocados na envolvente.

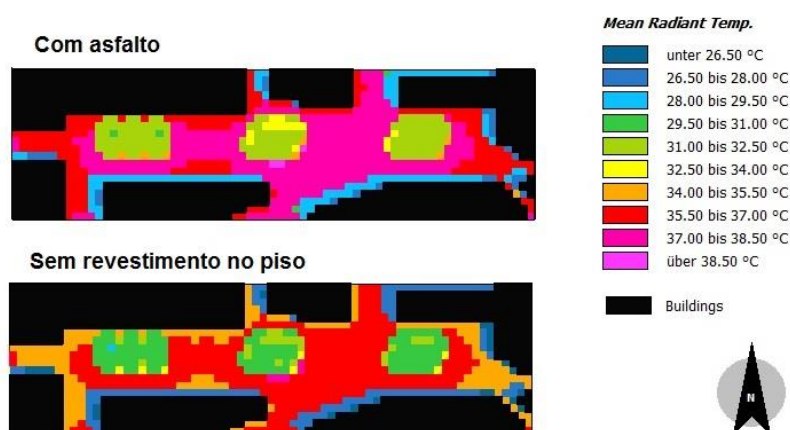


Figura 6.8 - Resultados da TMR do cenário “Alameda 1” e do mesmo cenário com remoção de pavimento.

É possível verificar ainda nos resultados correspondentes à TMR, que ocorre uma redução da mesma nos locais de sombra provocada pelos edifícios assim como, nos locais onde existe vegetação.

6.2.2.4. Influência da vegetação

Para testar a influência da vegetação foi retirada toda a vegetação existente na Alameda, com o propósito de analisar o impacto que causaria na sua envolvente imediata.

Apresenta-se na Figura 6.9 os resultados da radiação solar direta para este local de estudo, onde é possível verificar a zona de sombreamento criada pela vegetação e também o sombreamento provocado pelos edifícios para o posicionamento do sol correspondente às 12 horas.

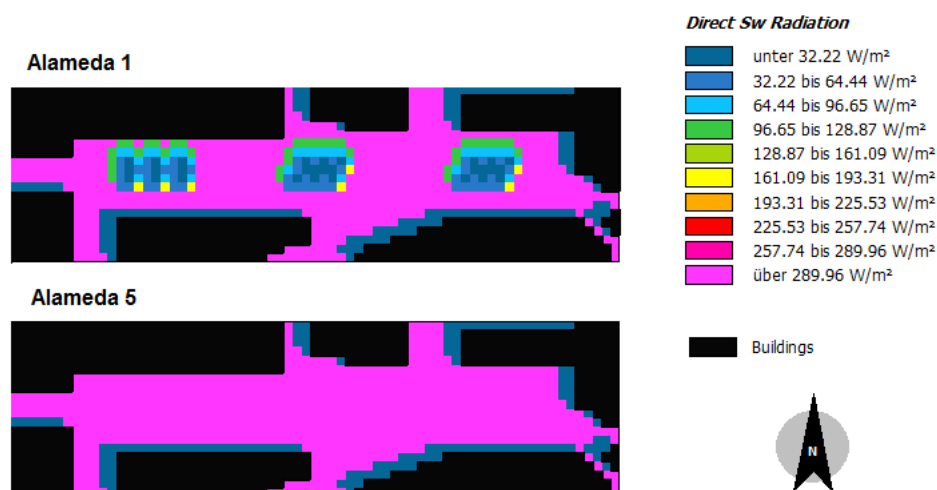


Figura 6.9 – Resultados da Radiação solar direta para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 5”.

Após retirar a vegetação do local de estudo, e como expectável, a temperatura do ar aumentará nestes locais (Figura 6.10), deixando de estar protegidos da incidência da radiação solar, o que se traduzirá num aumento da TMR não só no local onde foi retirada a vegetação, mas também na sua envolvente (Figura 6.11), pois as superfícies expostas à radiação solar direta aumentam e o processo de arrefecimento evaporativo das mesmas deixou de ocorrer.

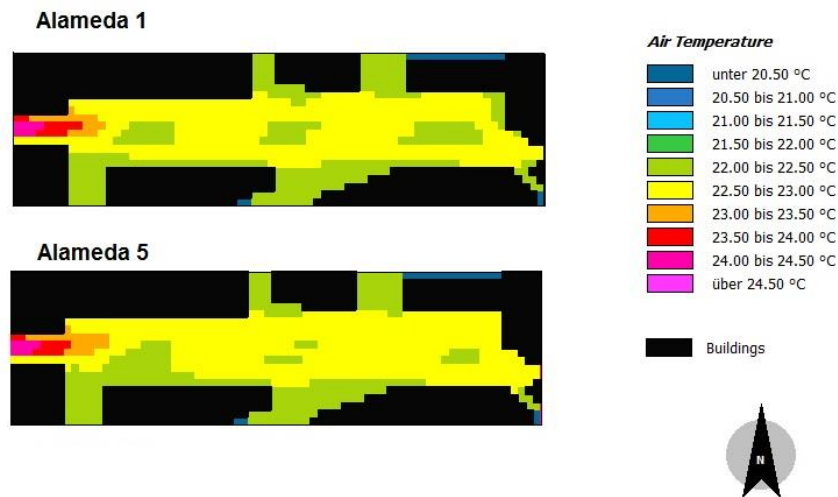


Figura 6.10 – Resultados da Ta para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 5”.

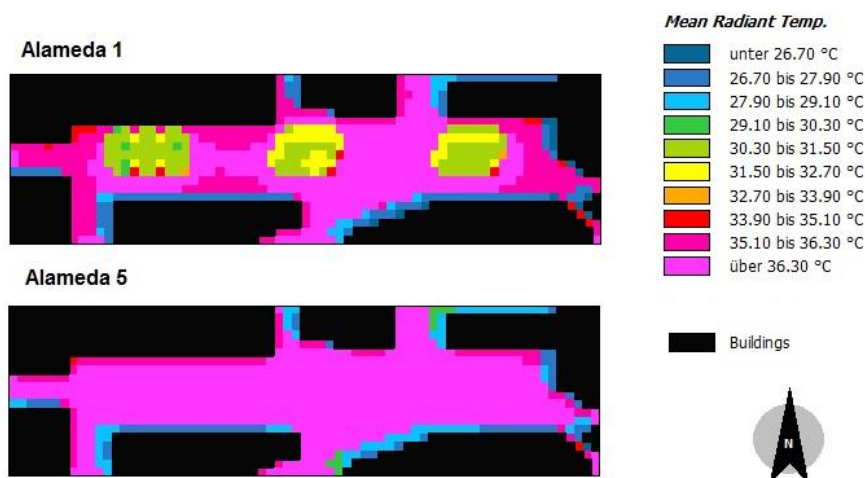


Figura 6.11- Resultados da TMR para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 5”.

Outro aspeto relevante desta variação é a notória influência que a vegetação apresenta na alteração da velocidade do vento, onde é possível verificar nos resultados apresentados na Figura 6.12 que a zona central da alameda após a retirada da vegetação fica exposta a uma velocidade do vento superior ao que apresentava anteriormente.

Um aspeto importante a destacar relativo a esta ocorrência, é que dependendo de outros fatores, nomeadamente da temperatura do ar, o aumento da velocidade do vento pode tornar-se um aspeto positivo para o conforto térmico, desde que devidamente controlado.

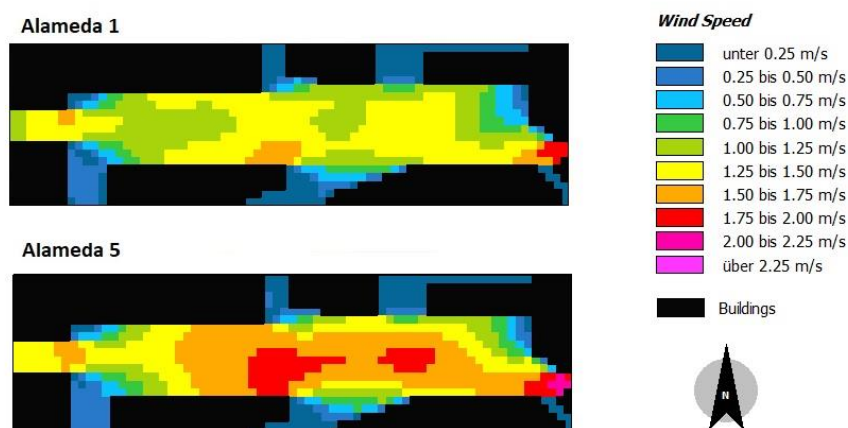


Figura 6.12 - Resultados da velocidade do vento para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 5”.

Relativamente à humidade relativa (HR) e conforme já constatado nos resultados da Figura 6.3 pode-se estabelecer uma relação inversa desta variável com a temperatura do ar (TA), ou seja, sempre que a TA aumenta a HR diminui e vice-versa. Esta ocorrência verifica-se novamente nos resultados apresentados na Figura 6.13 em que a TA do cenário “Alameda 5” aumentou devido à remoção da vegetação do local de estudo levando a uma diminuição da HR. Por este motivo, e tendo em conta que esta relação se mantém, os resultados relativos a esta variável (HR) deixarão de ser apresentados.

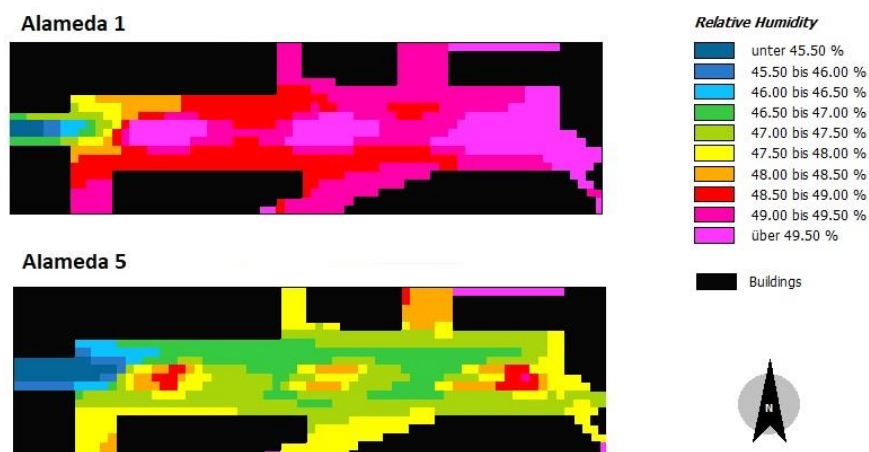


Figura 6.13 - Resultados da HR (Humidade Relativa) para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 5”.

6.2.2.5. Influência da volumetria dos edifícios

Tendo em conta as dimensões H/L característica deste local, despertou interesse estudar em que medida um aumento de uma das dimensões influenciaria as condições térmicas deste local. Para tal,

incrementou-se uma altura de 3 metros em todos os edifícios envolventes, correspondendo aproximadamente ao aumento de um piso.

Através de uma análise cuidada da Figura 6.14, e comparando o cenário “Alameda 1” com o cenário “Alameda 6”, é possível verificar que há um aumento da área de sombreamento provocada pelo incremento da altura dos edifícios correspondendo às áreas adjacente aos edifícios onde a TMR ronda os 26/27°C.

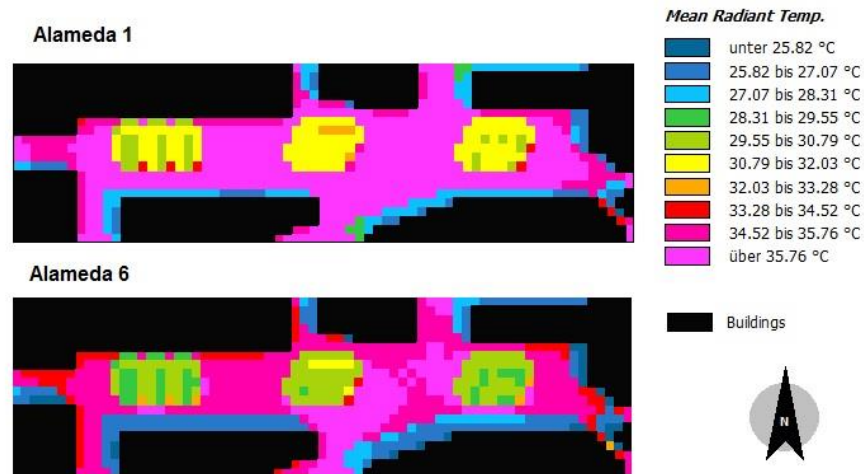


Figura 6.14 – Resultados da TMR para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 6”.

Como expectável, embora se tenhas efetuado apenas o incremento de um piso aos edifícios, aliados a este, está uma redução de incidência da radiação solar direta nas superfícies do local de estudo, logo uma redução da TMR (Figura 6.14) e, conseqüentemente uma redução da temperatura do ar (visível na Figura 6.15).



Figura 6.15 - Resultados da TA para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 6”.

Em relação à velocidade do vento, e tendo presente a sua sensibilidade a fatores externos para a forma como se manifesta, o incremento da altura dos edifícios aponta para uma ligeira redução da sua velocidade de propagação para o local de estudo em causa (Figura 6.16).

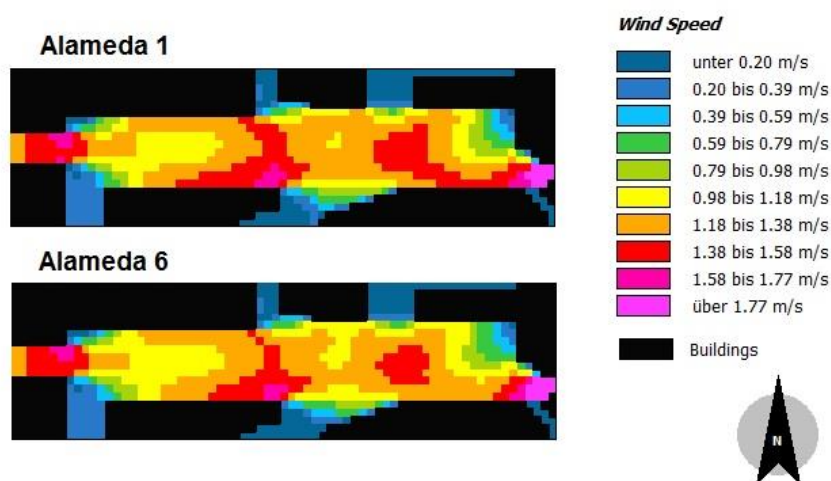


Figura 6.16 – Resultados da velocidade do vento para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 6”.

6.2.3. PRAÇA DAS LARANJEIRAS

Para o presente local de estudo serão considerados os cenários presentes no Quadro 6.4.

Quadro 6.4 - Identificação dos cenários de estudo para o local 2.

“P. Laranjeiras 1”	“P. Laranjeiras 2”	“P. Laranjeiras 3”	“P. Laranjeiras 4”	“P. Laranjeiras 5”	“P. Laranjeiras 6”
Situação corrente	Substituição do material de revestimento de piso	Revestimento das fachadas 1	Revestimento das fachadas 2	Remoção da vegetação	Aumento da volumetria dos edifícios

6.2.3.1. Influência do material de revestimento dos pavimentos

Como para o local de estudo 1 se verificou a influência da emissividade dos materiais de revestimento do piso, pretende-se nesta análise averiguar a influência de valores de albedo entre materiais, mantendo o mesmo valor de emissividade. Para tal, será substituído todo o pavimento existente na Praça das Laranjeiras (Quadro 6.5).

Quadro 6.5 - Dados correspondentes aos cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 2”.

	“P. Laranjeiras 1” – situação corrente	“P. Laranjeiras 2” – substituição de revestimento do piso
Albedo	0.40	0.80
Emissividade	0.90	0.90

Os resultados obtidos para a Ta resultantes desta alteração apresentam-se na Figura 6.17, os quais, após análise permitem verificar que quanto maior o valor de albedo dos materiais, maiores benefícios terão para o microclima.

No entanto, fazendo referência à primeira análise em que se variou o revestimento do piso (caso de estudo 1 - Alameda), e tendo em atenção as diferenças morfológicas e as áreas de intervenção serem distintas nos dois cenários, os resultados obtidos apontam para que pequenas alterações nos valores de emissividade se traduzam em maiores alterações para o microclima (quanto mantido o mesmo valor de albedo) quando comparadas com grandes alterações no valor de albedo dos materiais (e mantido o mesmo valor de emissividade).

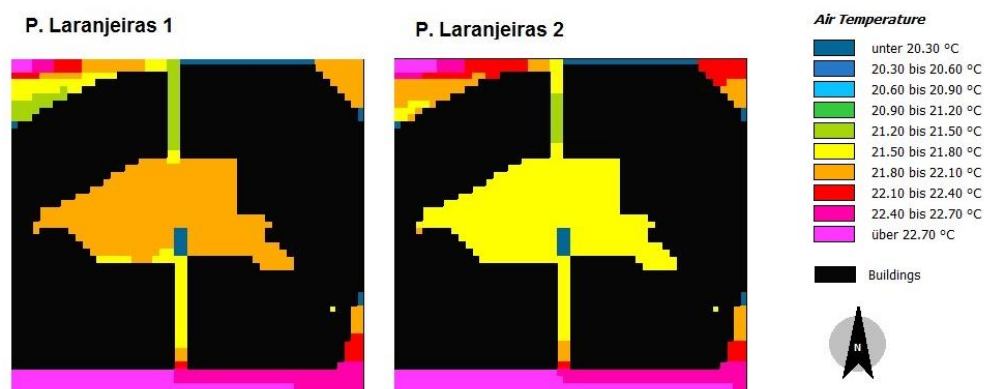


Figura 6.17 – Resultados da Ta para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 2”.

Nos resultados apresentados na Figura 6.18 respeitantes à TMR verifica-se novamente a influência dos materiais existentes na envolvente. Isto, porque embora o material aplicado no piso apresente um maior valor de albedo, contribuindo teoricamente para a melhoria do clima ambiente, este reflete uma maior quantidade de radiação, que conforme é possível verificar na Figura 6.18 é absorvida pelas fachadas e conduz a um aumento da TMR junto das superfícies das mesmas.

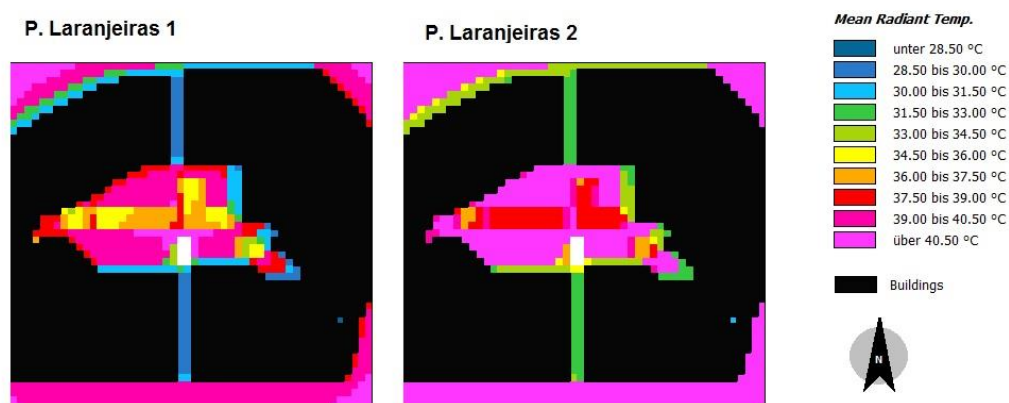


Figura 6.18 – Resultados da TMR para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. das Laranjeiras 2”.

6.2.3.2. Influência do revestimento das fachadas

No que diz respeito ao estudo do revestimento das fachadas, os materiais que se fizeram variar para o local de estudo 1 irão manter-se para este local de estudo, com o intuito de não só analisar em que medida materiais com diferentes características de absorção, transmissão e reflexão contribuem para a melhoria do microclima, mas também, poder posteriormente verificar e relacionar tais contributos com as diferenças morfológicas características de cada local (Quadro 6.6).

Quadro 6.6 - Dados relativos aos revestimentos de fachadas, obtidos no “DB Manager” do programa “Envi-met”.

	“P. Laranjeiras 1” – situação corrente	“P. Laranjeiras 3” - Revestimento das fachadas 1	“P. Laranjeiras 4” - Revestimento das fachadas 2
Absorção	0.70	0.30	0.05
Reflexão	0.30	0.70	0.05
Transmissão	0	0	0.90
Emissividade	0.90	0.90	0.90

Relativamente aos resultados obtidos respeitantes à T_a (Figura 6.19) e TMR (Figura 6.20), estes demonstraram a mesma tendência que apresentaram os resultados obtidos para o local de estudo 1.

No entanto, e tendo sempre presente que são dois locais com morfologias distintas, a diferença de T_a entre os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 3” é mais evidente do que a diferença que se obteve para os cenários “Alameda 1” e “Alameda 3” em que quase não se verificaram diferenças.

Fazendo referência ao quadro 6.5, onde é possível verificar que o material existente no piso do presente local de estudo apresenta um valor de albedo (0,40) superior ao asfalto (0,20) existente no local de estudo 1, corresponderá a uma menor absorção da radiação refletida pelas fachadas. Assim, a radiação solar refletida pelas fachadas do cenário “P. Laranjeiras 3” não será absorvida com tanta expressão, não aumentando tanto a TMR e consequentemente não levando ao aumento da T_a , tornando mais evidente as diferenças de temperatura apresentadas.

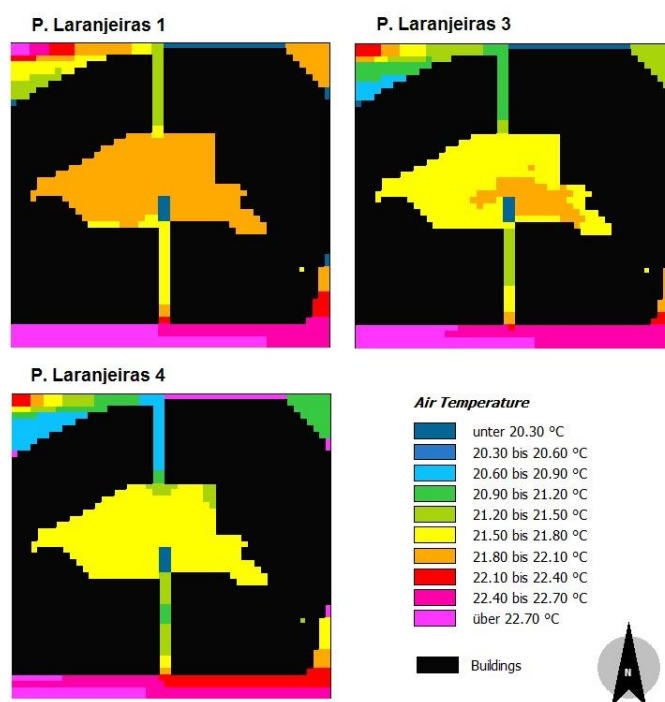


Figura 6.19 – Resultados da Ta dos cenários “P. Laranjeiras 1”, “P. Laranjeiras 3” e “P. Laranjeiras 4”.

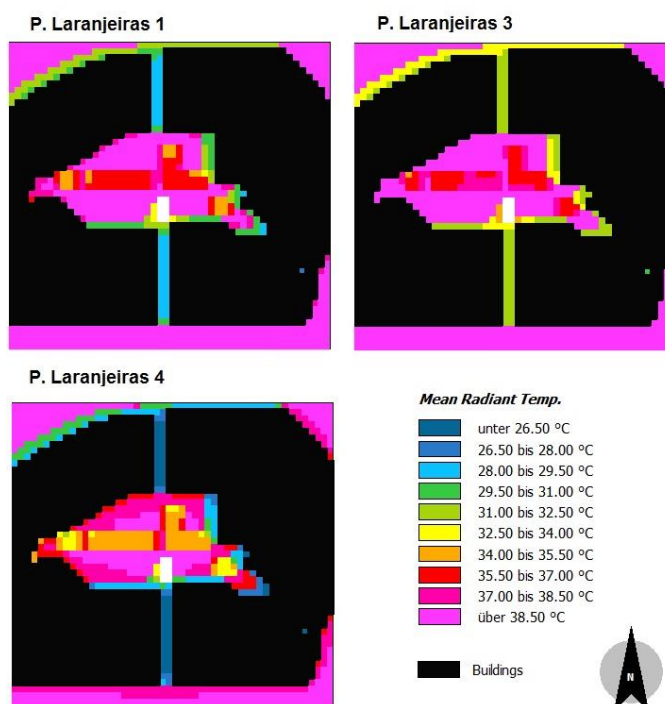


Figura 6.20 – Resultados da TMR dos cenários “P. Laranjeiras1”, “P. Laranjeiras 3” e “P. Laranjeiras 4”.

6.2.3.3. Influência da vegetação

Conforme se efetuou para o local de estudo 1, para este local de estudo também será removida toda a vegetação existente com o intuito de se analisar e quantificar o impacto da mesma.

Apresenta-se na Figura 6.21 os resultados relativos à radiação solar direta que permitem identificar a localização onde está presente a vegetação e os locais de sombra.

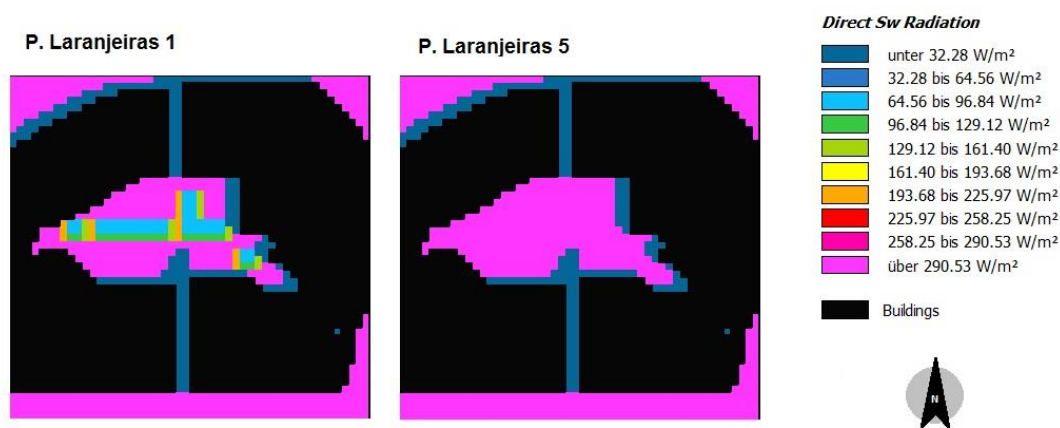


Figura 6.21 – Resultados da radiação solar direta para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 5”.

Tal como para o local de estudo 1, verifica-se e reforça-se que a remoção da vegetação dos espaços públicos traduz-se em impactos negativos para o clima ambiente, ou seja, o aumento de superfícies expostas à radiação solar que traduzir-se-á num agravamento das variáveis de conforto térmico.

Relembrando que a espécie de árvores presente neste local são laranjeiras, e que neste caso, como disponível na base de dados do programa estas foram consideradas corretamente e apresentam dimensões inferiores às consideradas para o local de estudo “Alameda”, verifica-se a através da análise da Figura 6.22, que embora reduzido o aumento da temperatura do ar deste local, resultado da dimensão do espaço em si com a quantidade e tipologia da vegetação considerada, este aumento não ocorre exatamente nos locais onde a vegetação foi removida, destacando-se a potencialidade do programa na consideração de diferentes dimensões e tipologia de vegetação consideradas.

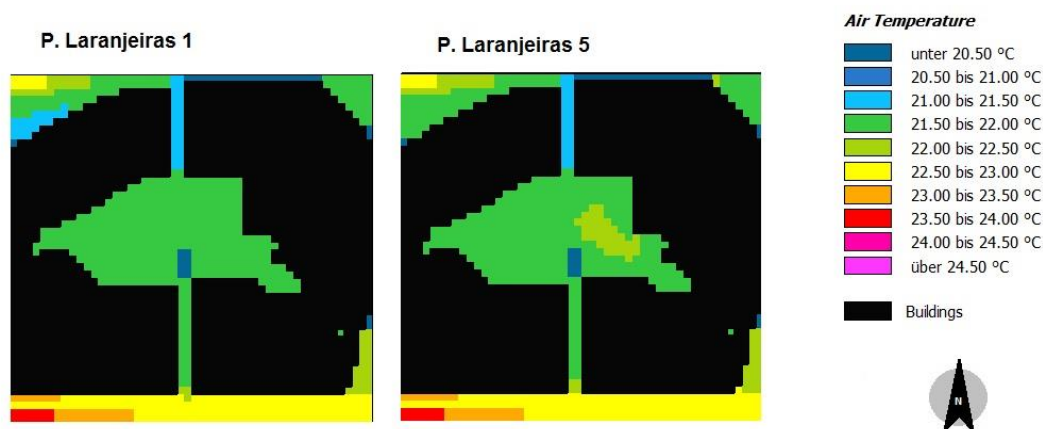


Figura 6.22 – Resultados da Ta dos cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 5”.

Em relação à TMR, apenas se demonstra mais uma vez na Figura 6.23, que esta variável aumenta devido ao natural aumento das superfícies expostas à radiação solar. Assim como, na Figura 6.24 se verifica o aumento da velocidade do vento resultante da remoção da vegetação.

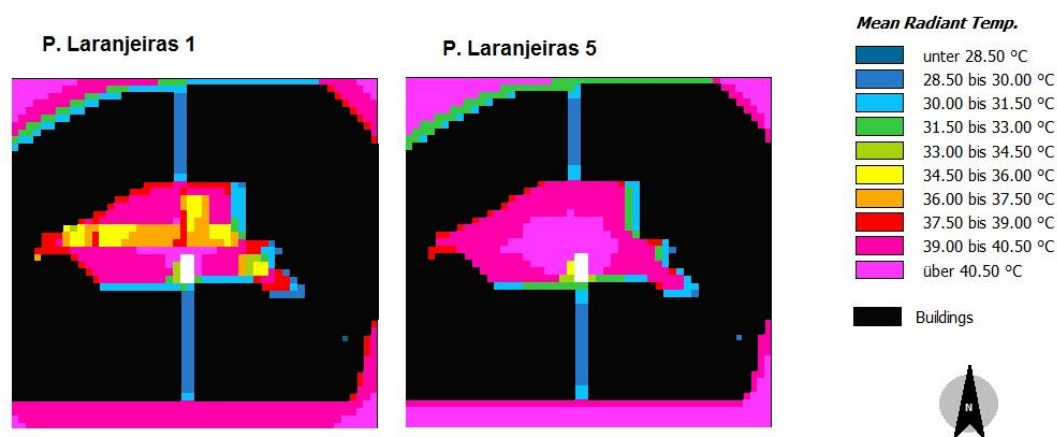


Figura 6.23 – Resultado da TMR dos cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 5”.

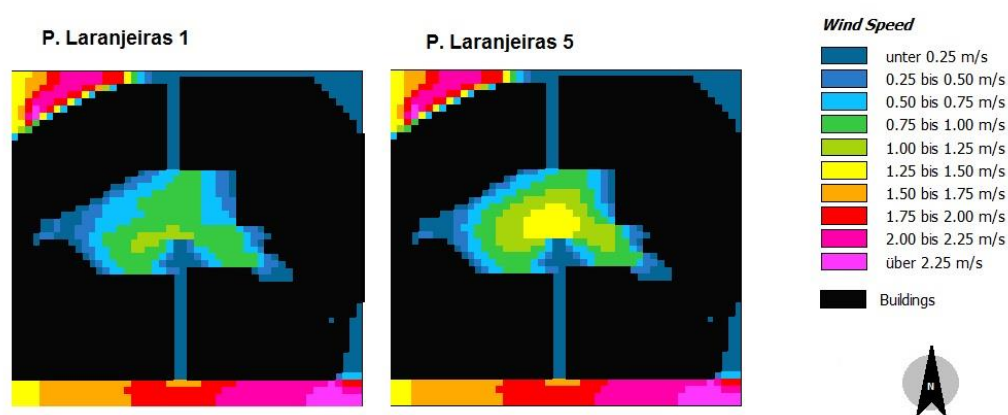


Figura 6.24 – Resultado da velocidade do vento dos cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 5”.

6.2.3.4. Influência da volumetria dos edifícios

De forma a relacionar os impactos o aumento da volumetria dos edifícios com diferentes morfologias urbanas, foi concretizado o aumento de volumetria dos edifícios análogo ao efetuado para o local de estudo 1.

Tendo em conta a data das simulações, 23 de junho de 2017, próximo do solstício de Verão (21 de junho), em que o sol nasce relativamente próximo da orientação Nordeste e põe-se relativamente próximo da orientação Noroeste, apresentando os valores mais altos de todo o ano nos dias próximos à data da simulação e correspondendo os resultados às 12 horas, na qual o sol se encontra numa posição

em que a inclinação dos raios incidentes é quase vertical pelo que, o aumento da volumetria dos edifícios para a hora de análise será insignificante, de maneira que não causou grandes impactos nas restantes variáveis em análise (Figura 6.26 e Figura 6.29).

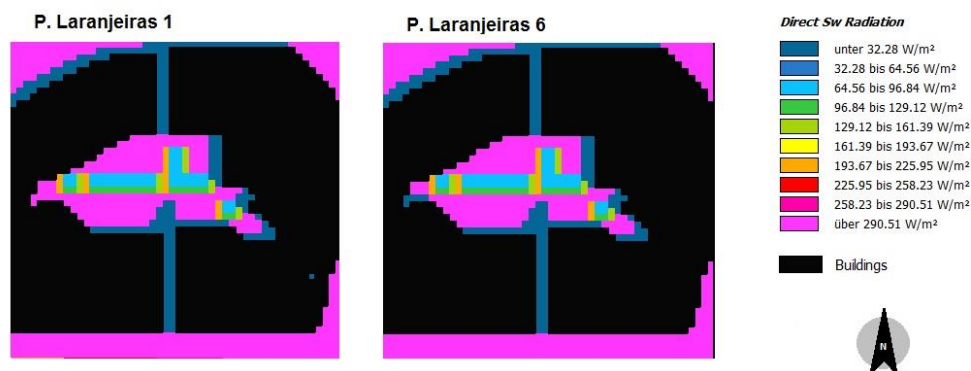


Figura 6.25 – Resultado da radiação solar direta para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 6”.

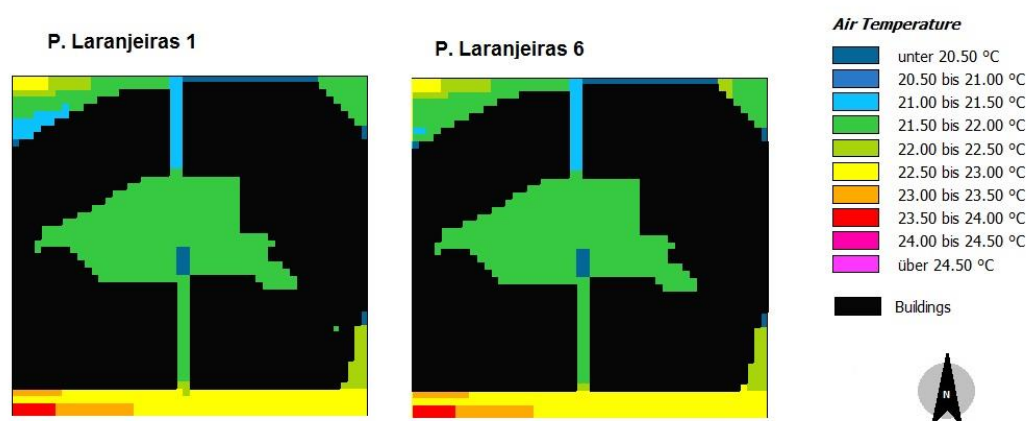


Figura 6.26 – Resultado da Ta para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 6”.

Assim, de forma a poder retirar conclusões acerca da influência do aumento de volumetria dos edifícios apresentam-se os resultados correspondentes às 9 horas, apresentando o sol para esta hora uma certa inclinação, representando o aumento da volumetria dos edifícios uma condicionante à radiação solar que atinge as superfícies do local de estudo, permitindo desta forma demonstrar a influência nas variáveis de análise.

Dos resultados obtidos na Figura 6.27 embora seja pouco notória, devido à escala utilizada e também à grandeza da alteração (incremento de 1 piso), ocorre uma diferença da radiação solar direta no local de estudo. Relativamente aos resultados apresentados na Figura 6.28, conforme expectável, para as 9 horas as temperaturas são inferiores às obtidas para as 12 horas e podemos verificar que mantendo uma mesma escala de variação de temperatura (variação de 0,5°C conforme a legenda apresentada), é notória uma diferença numa zona do local de estudo, comprovando que de facto, o aumento da

volumetria do edifício traduz-se em alterações nas variáveis de análise e que, se demonstrariam mais evidentes caso a escala de variação fosse inferior.

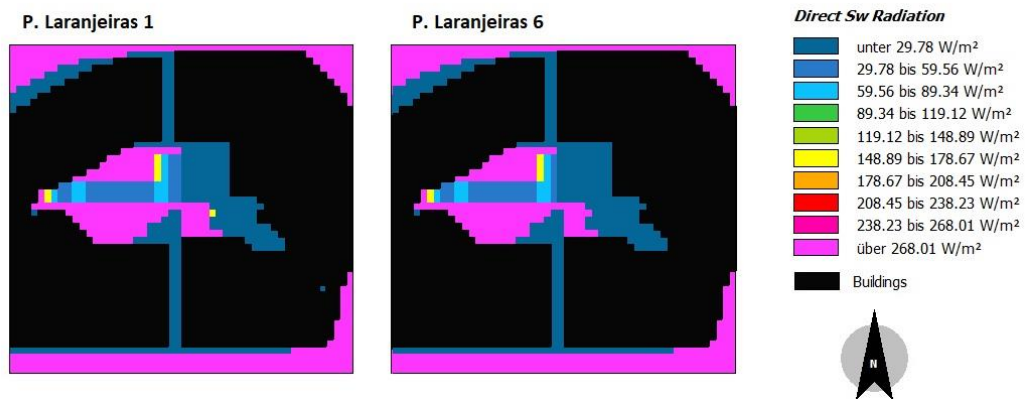


Figura 6.27- Resultado da radiação solar direta para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 6” correspondentes às 9 horas.

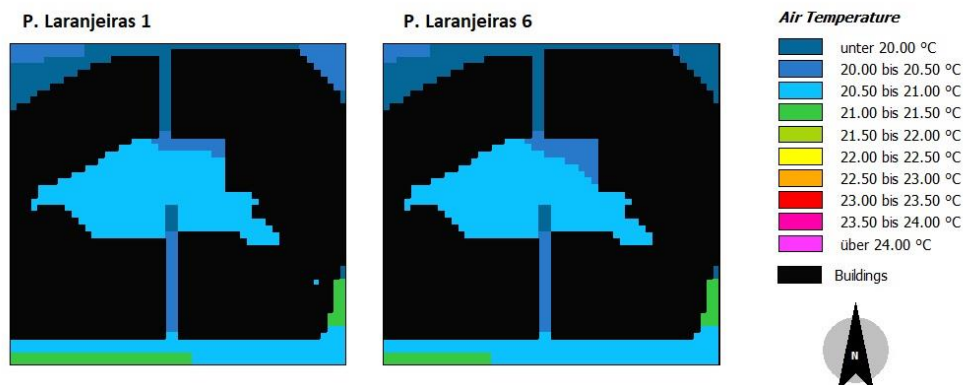


Figura 6.28 - Resultado da TA para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 6” correspondentes às 9 horas.

Tal como aparentou indicar nos resultados obtidos para o local de estudo 1, o aumento da volumetria dos edifícios, demonstra, embora de forma pouco perceptível, que o aumento da volumetria dos edifícios conduz a uma redução da velocidade do vento (Figura 6.29).

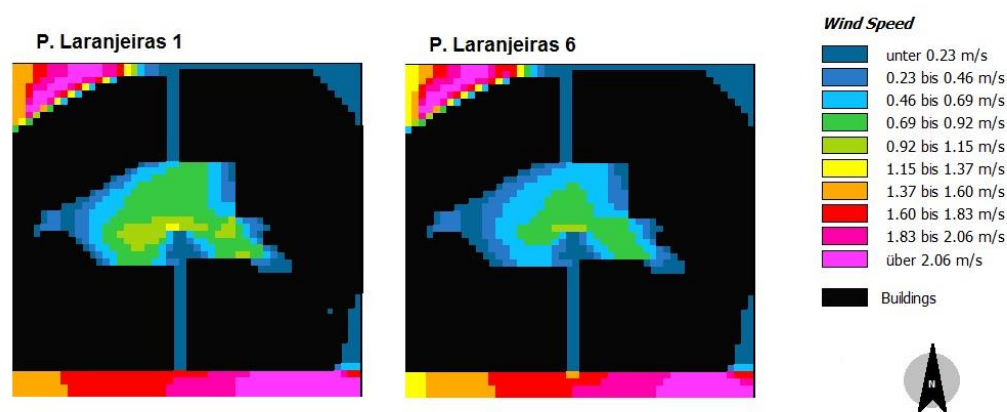


Figura 6.29 – Resultados da velocidade do vento para os cenários “P. Laranjeiras 1” e “P. Laranjeiras 6”.

6.2.4. PRAÇA BRANDÃO DE VASCONCELOS

Para o presente local de estudo serão considerados os cenários presentes no Quadro 6.7.

Quadro 6.7 - Identificação dos cenários de estudo para o local 3

“Praça 1”	“Praça 2”	“Praça 3”	“Praça 4”	“Praça 5”	“Praça 6”
Situação corrente	Substituição do material de revestimento de piso	Revestimento das fachadas 1	Revestimento das fachadas 2	Remoção da vegetação	Aumento da volumetria dos edifícios

6.2.4.1. Influência dos materiais de revestimento dos pavimentos

Para este local de estudo os materiais que serão analisados apresentam as características apresentadas no Quadro 6.8.

A estrada existente pavimentada com granito de cor escura será substituída por um material com elevado valor de albedo e emissividade, duas características anteriormente comprovadas como benéficas para melhor as condições térmicas do ambiente, afim de aferir e quantificar até que ponto, a substituição do material de revestimento do piso (estrada) influenciará o conforto térmico da praça adjacente.

Os locais onde ocorreu alteração do revestimento do piso encontram-se representados com a cor azul na Figura 6.30.

Quadro 6.8 - Dados correspondentes aos cenários “Praça 1” e “Praça 2”.

	“Praça 1” – Situação corrente	“Praça 2” – Substituição do material de revestimento do piso
Albedo	0.3	0.8
Emissividade	0.9	0.95

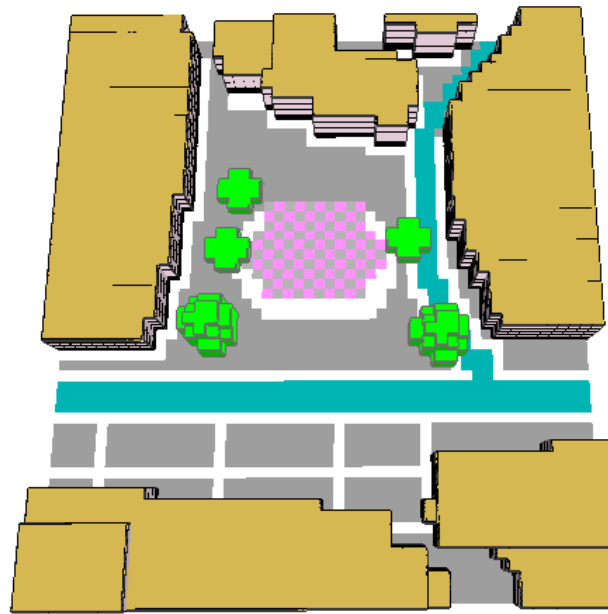


Figura 6.30 – Identificação dos locais onde ocorreu alteração de revestimento do piso.

Após a substituição do material de revestimento do piso indicado, obteve-se os resultados da Ta presentes na Figura 6.31 em que é notório o contributo de um material com as características utilizadas para atenuar as temperaturas no centro da praça, chegando nos locais onde o material foi aplicado a registar-se um decréscimo de temperatura na ordem dos 2°C.

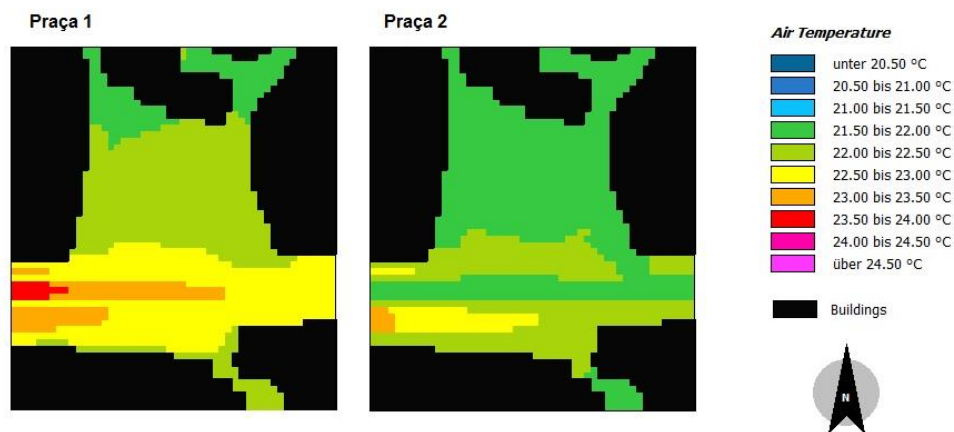


Figura 6.31 – Resultados da Ta dos cenários “Praça 1” e “Praça 2”.

Quanto à TMR, apresentando o material de revestimento do piso empregue, alto valor de albedo e emissividade, seria presumível uma redução deste parâmetro, a qual ocorreu e se pode verificar na Figura 6.32.

No entanto, quando se obteve os resultados verificou-se que as zonas junto da vegetação apresentam valores de TMR elevados, quando deveriam beneficiar do efeito que provocam (vegetação) na obstrução à radiação solar que atinge as superfícies, e do seu processo metabólico, reduzindo desta forma a TMR.

A justificação para estes valores, poderá estar relacionada com o ângulo de incidência que os raios solares apresentam para a hora da simulação (12h), os quais incidem em parte sem obstrução no material de revestimento do piso existente nas zonas inferiores à copa das árvores, permitindo que estas superfícies aqueçam. Associado a esta circunstância, está o efeito atenuante da vegetação em relação às correntes do vento (conforme é possível verificar nos resultados apresentados na Figura 6.33), que devido à redução da sua velocidade naquelas zonas, fará com que se concentre uma maior temperatura, apresentado valores de TMR mais elevados.

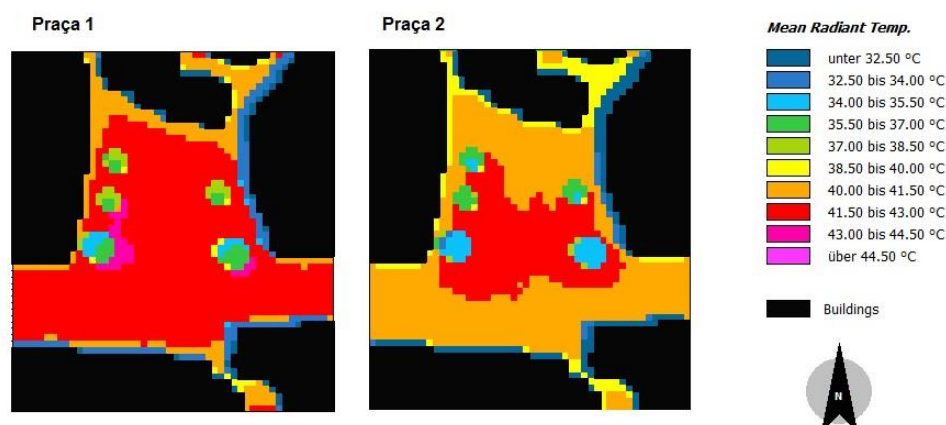


Figura 6.32 – Resultados da TMR dos cenários “Praça 1” e “Praça 2”.

Os resultados da velocidade do vento que a seguir se apresentam na Figura 6.33, demonstram também, que ocorrendo diferenças na Ta e na TMR, ocorrerão também diferenças de pressões atmosféricas, o que poderá levar a ligeiras alterações no comportamento do vento.

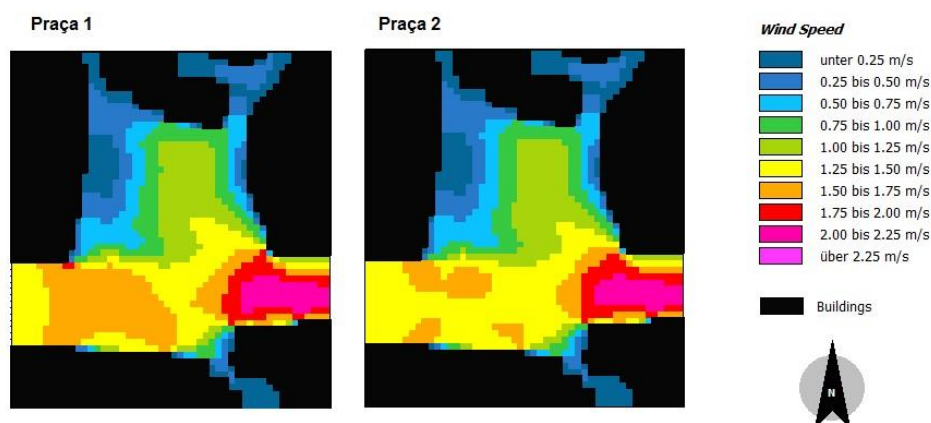


Figura 6.33 – Resultados do vento dos cenários “Praça 1” e “Praça 2”.

6.2.4.2. Influência do material de revestimento das fachadas

Para análise do material de revestimento das fachadas, os materiais a estudar serão os mesmos que foram utilizados para o local de estudo 1 e 2, mantendo em vista a análise e relação destes com as diferenças morfológicas do espaço urbano (Quadro 6.9).

Quadro 6.9 - Dados relativos aos revestimentos de fachadas obtidos no “DB Manager” do programa “Envi-met”.

	“Praça 1” – Situação corrente	“Praça 3” – Substituição do revestimento da fachada 1	“Praça 4” – Substituição do revestimento da fachada 2
Absorção	0.70	0.30	0.05
Reflexão	0.30	0.70	0.05
Transmissão	0	0	0.90
Emissividade	0.90	0.90	0.90

Em relação ao presente local de estudo as tendências das simulações anteriores mantêm-se quer em relação à temperatura do ar (Figura 6.34) quer em relação à TMR (Figura 6.35), demonstrando-se as fachadas envidraçadas mais benéficas para a melhoria do microclima exterior, no entanto, menos relevantes do que o que se mostraram nos cenários anteriores, pois caracterizando-se este local como uma praça ampla, os materiais de revestimento do piso assumem-se determinantes para a caracterização do clima local.

Também por essa razão, a diferença entre o cenário “Praça 1” e “Praça 3” é mínima, prevalecendo um mínimo benefício para o cenário “Praça 3” (paredes rebocadas e pintadas de cor clara).

Relativamente à TMR verifica-se novamente que o elevado coeficiente de transmissão das fachadas do cenário “Praça 4” contribui significativamente para a redução da TMR não só da envolvente mais próxima, como de todo o local de estudo. Já o cenário “Praça 3”, novamente devido à elevada reflectância do material, permite que outras superfícies se tornem responsáveis pelo aumento da TMR do local (Figura 6.35).

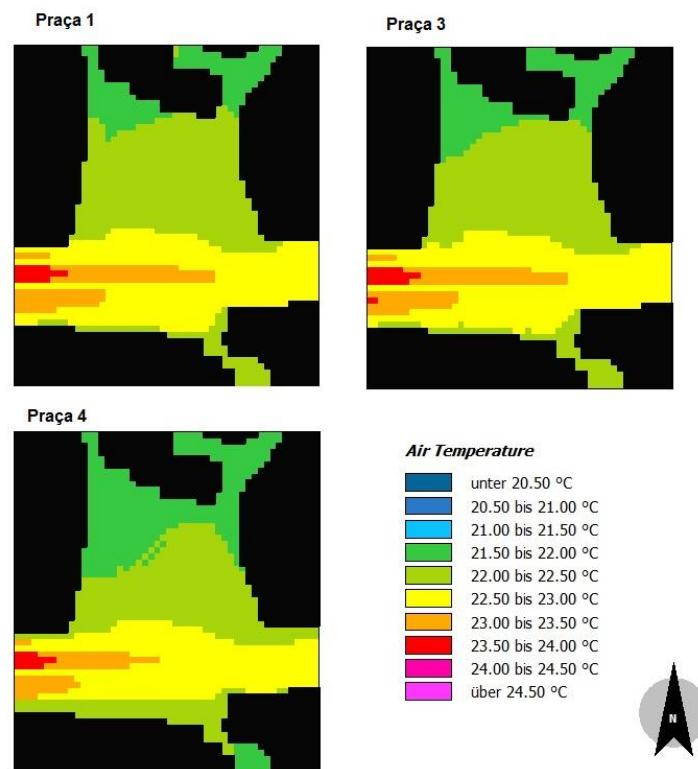


Figura 6.34 – Resultados da Ta dos cenários “Praça1”, “Praça 3” e “Praça 4”.

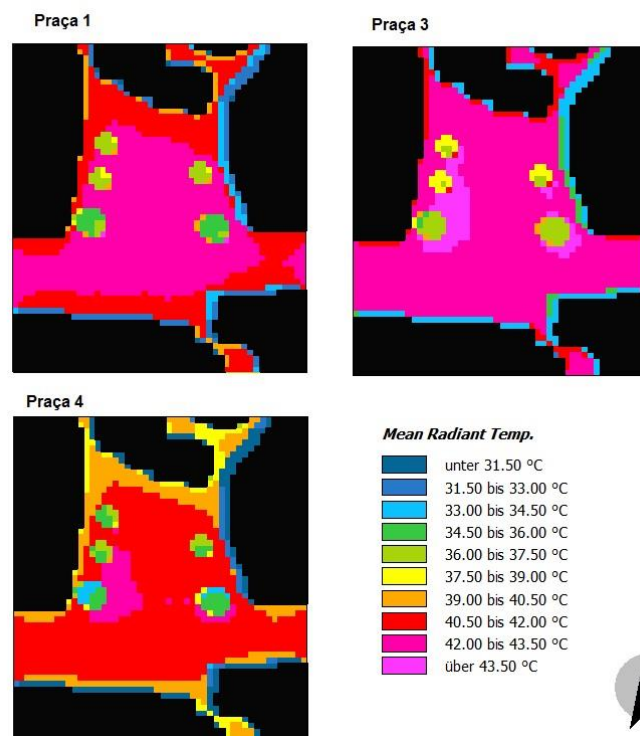


Figura 6.35 – Resultado da TMR dos cenários “Praça 1”, “Praça 3” e “Praça 4”.

6.2.4.3. Influência da vegetação

Para este local de estudo, foram retiradas da “Praça Brandão Vasconcelos” duas árvores de grande dimensão e três de dimensão claramente mais reduzida. É possível verificar na Figura 6.36, correspondente à radiação solar direta, o sombreamento promovido por estas, traduzido na diminuição da radiação solar direta.

Pode-se verificar ainda na Figura 6.36, o sombreamento provocado pelos edifícios, tendo sempre presente que os resultados correspondem às 12 horas, pelo que a expressão das sombras é mínima pois o sol encontra-se numa posição próxima da altura máxima em que a inclinação dos raios incidentes é quase vertical.

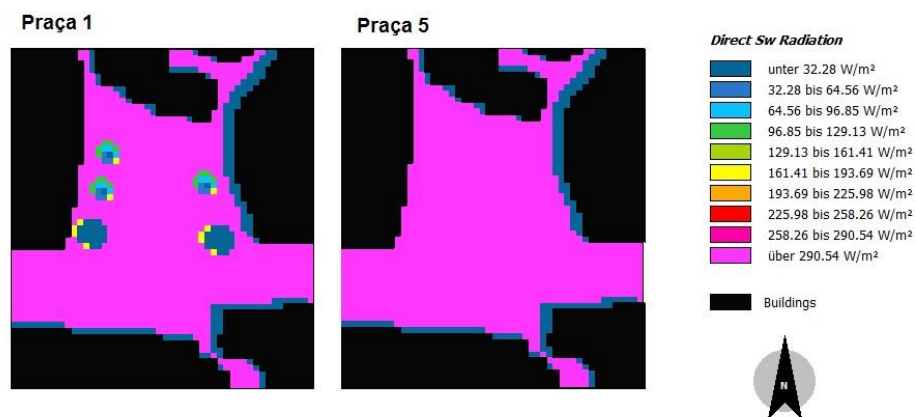


Figura 6.36 – Resultados da Radiação Solar Direta para os cenários “Praça 1” e “Praça 5”.

A influência da remoção da vegetação do local de estudo não foi ao encontro das expectativas em termos da alteração provocada na temperatura do ar (Figura 6.37), pois seria expectável um aumento da mesma.

Esta mínima alteração, quase inexpressiva, pode ser justificada pelos diversos contributos que a vegetação apresenta para a melhoria do clima, ou seja, se por um lado através da sua remoção, não se beneficia da sombra que estas proporcionam, assim como do seu contributo através da evapotranspiração, por outro, a praça ficará menos protegida à ação do vento, conforme se pode verificar na Figura 6.38.

Com a retirada da vegetação há um aumento significativo da velocidade do vento nos locais onde anteriormente eram atenuados pela sua presença, o que de certa forma compensará o aumento da temperatura do ar ocorrido pela sua remoção, resultando numa temperatura do ar praticamente igual.

Importa também salientar que a relação estabelecida poderá apenas ser aplicada uma vez que está em causa uma reduzida quantidade de árvores (2 de grande porte e 3 de porte reduzido) em comparação com a área total do espaço público, pois certamente para uma maior quantidade de vegetação em causa, a sua influência na temperatura do ar seria evidente.

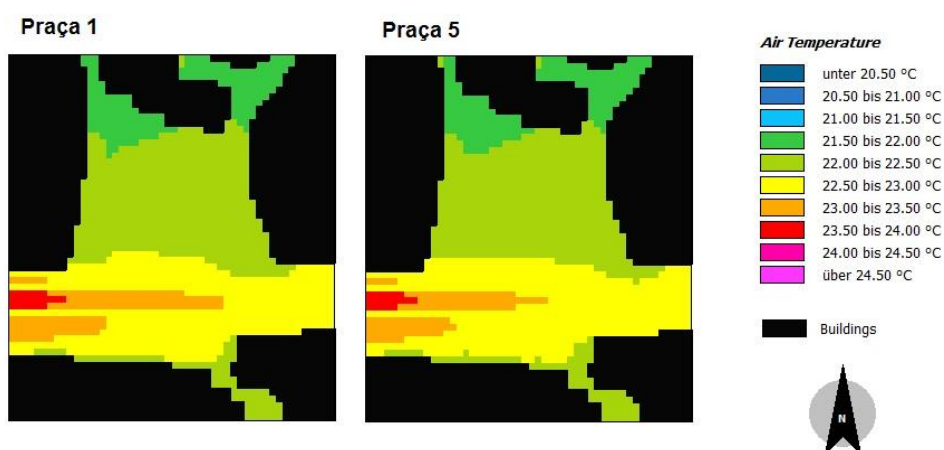


Figura 6.37 – Resultados da Temperatura do ar para os cenários “Praça 1” e “Praça 5”.

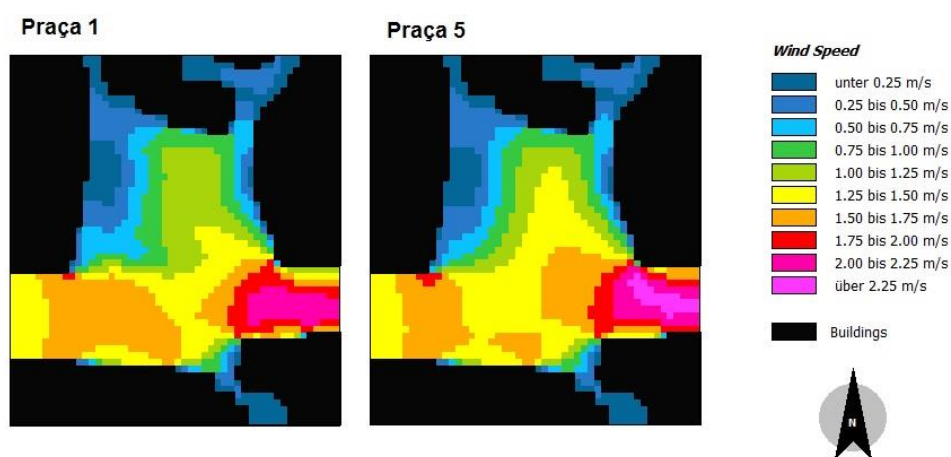


Figura 6.38 – Resultados da velocidade do vento para os cenários “Praça 1” e “Praça 5”.

Ainda em relação ao vento, o programa utilizado apresenta a potencialidade evidenciada na Figura 6.39, que representa a direção do vento considerada e permite compreender o seu comportamento e ajuste a diferentes cavidades urbanas. Esta potencialidade embora não tenha sido aprofundada neste estudo, poderá ser extremamente útil para a compreensão da adaptação do vento às geometrias das construções, dimensões das ruas assim como, outras características locais.

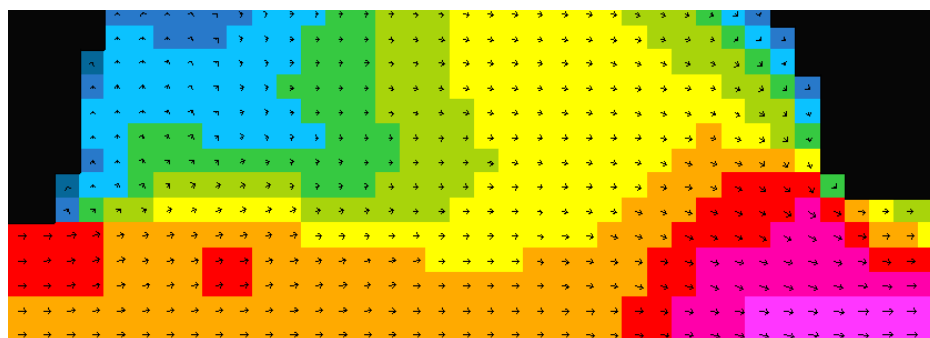


Figura 6.39 – Indicação da direção do vento considerada.

6.2.4.4. Influência da volumetria dos edifícios

Relativamente ao aumento da altura dos edifícios para este local de estudo, as alterações são pouco significativas, facto que pode ser explicado por esta praça ser bastante ampla, na qual o incremento de um piso não trará grandes alterações na incidência da radiação solar e consequentemente não terá grande impacto na temperatura do ar.

Através da análise da Figura 6.40, pode-se constatar que realmente as alterações na temperatura do ar são bastante reduzidas e não são lineares, ou seja, há localidades em que a temperatura do ar aumenta e outras em que diminui, o que poderá ser explicado pelas alterações dos fluxos de ar que assumem um novo comportamento ao se ajustarem à nova geometria urbana (Figura 6.41).

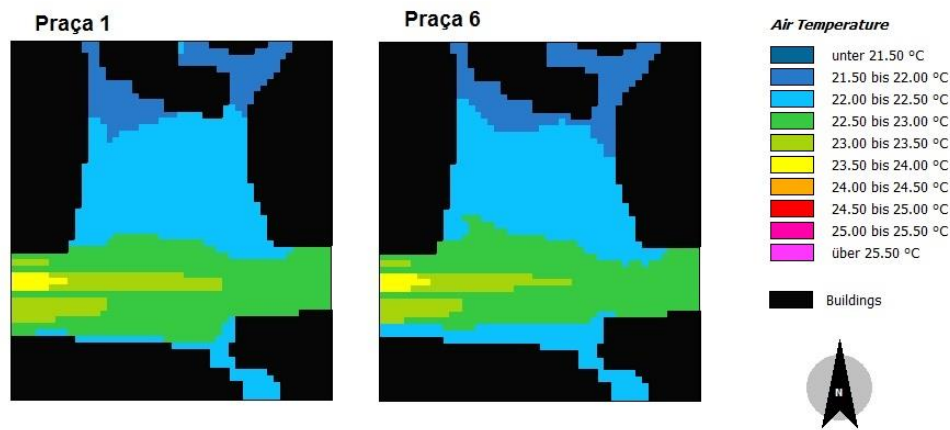


Figura 6.40 – Resultados da Temperatura do ar para os cenários “Praça 1” e “Praça 6”.

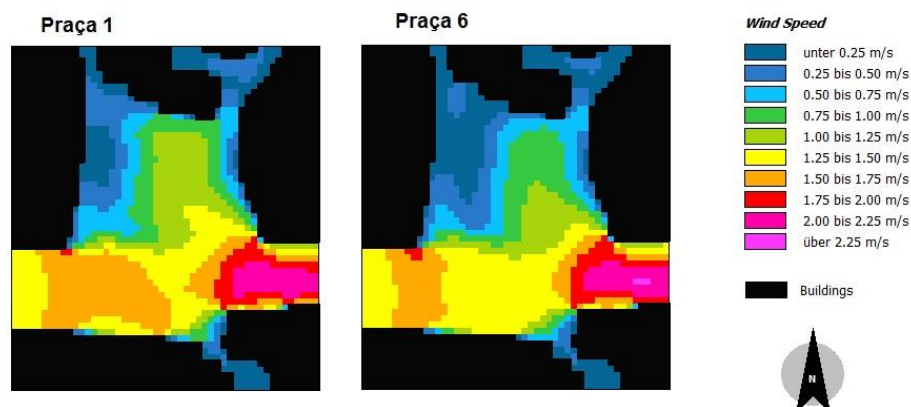


Figura 6.41 – Resultados da velocidade do vento para os cenários “Praça 1” e “Praça 6”.

6.2.4.5. Variação da direção do vento

Atendendo a que inicialmente se considerou e fixou a direção dos ventos “de Oeste” para a realização das diversas análises paramétricas efetuadas, pretende-se neste ponto verificar em que medida esta consideração resulta em alterações nas restantes variáveis microclimáticas.

Para tal, sendo o vento uma variável tão instável, efetuou-se uma comparação entre as três direções mais frequentes para a região de análise em que, através da consulta do anexo A se constatou que seriam Oeste, Este e Noroeste, mantendo para a análise a “Praça Brandão de Vasconcelos”.

Como se pode verificar através dos resultados da Figura 6.42, a direção dos ventos apresenta impactos consideráveis na velocidade do vento que se fará sentir na zona central da praça, bem como nas características da sua circulação, influenciando outras variáveis climáticas (Figura 6.43).

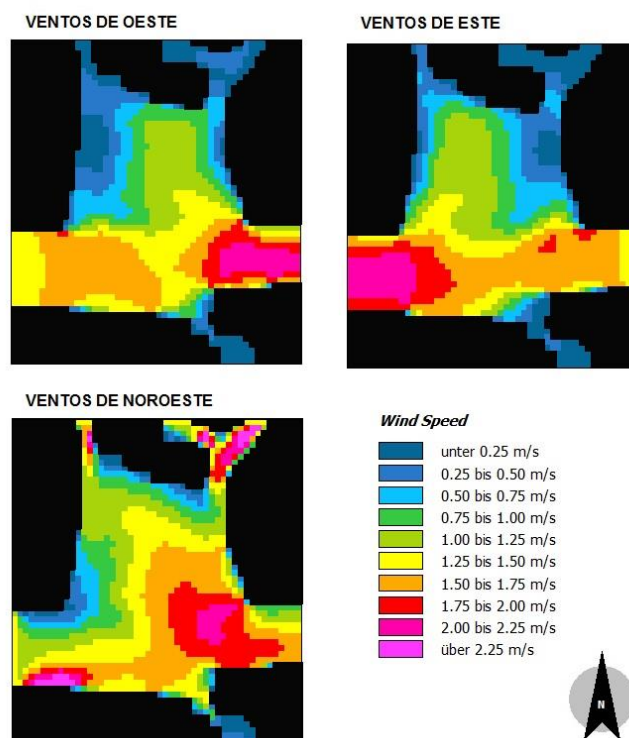


Figura 6.42 – Resultados da velocidade do vento para as diferentes direções consideradas.

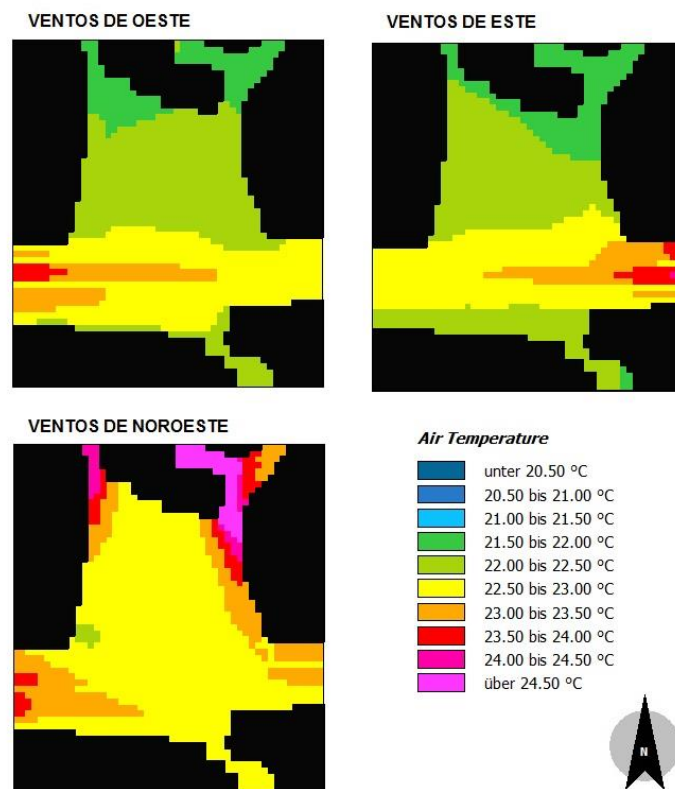


Figura 6.43 – Resultados da temperatura do ar para as diferentes direções consideradas.

6.2.4.6. Estudo da influência da estação do ano

Ao longo da presente dissertação, foram testadas diferentes características de materiais de modo a aferir quais os que resultariam em benefícios para a atenuar as temperaturas elevadas, que poderão tornar-se desagradáveis no verão. No entanto, há que ter em atenção que os materiais embora possam ser adequados e representar boas soluções para a estação de verão, não devem comprometer ou comportar-se de forma negativa para a estação de inverno.

Verifica-se então, que para a Praça Brandão de Vasconcelos, a substituição do pavimento da estrada por um material com características de alto albedo e emissividade, assim como o revestimento das fachadas envidraçadas, demonstraram ser as estratégias que contribuiriam para reduzir de forma mais evidente as temperaturas neste local. Nesse sentido, e num contexto meramente académico, pois não é de todo realista uma substituição total das fachadas por envidraçados num local previamente construído nem tão pouco confortável para o interior das edificações, será confrontado um cenário que integra estas duas estratégias para a estação de verão, mas agora, para um dia representativo da estação de inverno.

Para tal, foi selecionado aleatoriamente o dia 22 de dezembro de 2017, e fizeram-se simular dois cenários: situação corrente e o cenário que integra as estratégias de melhoria. Nas simulações foi ainda alterada a direção do vento, não esquecendo que ao mês de dezembro corresponde uma direção dominante do vento distinta da do mês de junho (estação de verão). Para tal, através da consulta do anexo A, verifica-se que a direção com maior incidência para o mês de dezembro é a direção Este.

Apresenta-se na Figura 6.44 os resultados da temperatura do ar dos dois cenários.

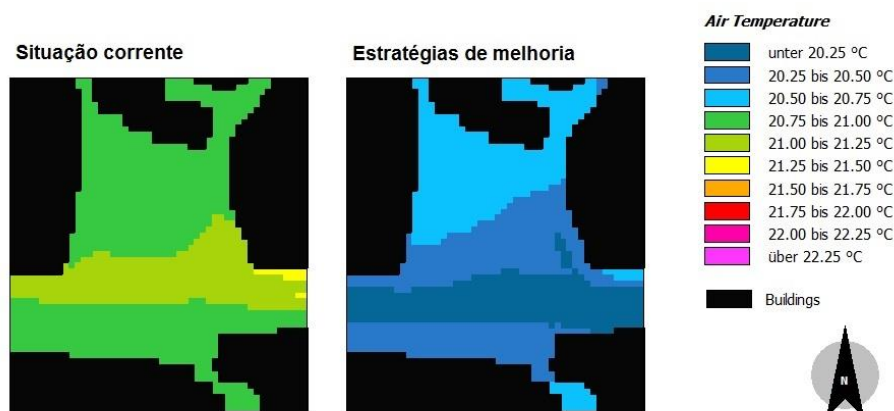


Figura 6.44 – Resultados da Ta para a estação de inverno.

Verifica-se então, que as estratégias que seriam benéficas para a estação de verão, no sentido em que permitiriam atenuar as temperaturas, continuam tal como o esperado, a assumir o mesmo comportamento para a estação de inverno. De modo a que seja possível realizar o contrabalanço entre as desvantagens e os benefícios das estratégias em causa, apresentam-se na Figura 6.45 os resultados dos mesmos cenários para a estação do verão.



Figura 6.45 – Resultados da Ta para a estação de verão.

A análise e comparação dos resultados obtidos na Figura 6.44 e na Figura 6.45, surgem como representativas de um método que poderá ser posto em prática com a ferramenta de estudo, ou seja, permitem fazer uma análise dos benefícios e prejuízos resultantes de determinada operação, permitindo posteriormente optar com o prosseguimento da mesma, ou realizar pequenos ajustes.

Na presente análise como não existem objetivos específicos a atingir nem padrões de temperatura a restringir, a análise torna-se pouco conclusiva, pois as reduções de temperatura resultantes da implementação das estratégias para as diferentes estações (inverno e verão) são notórias. No entanto, atendendo a que a permanência no espaço público tende a diminuir na estação de inverno, a redução de temperatura verificada não aparenta ser problemática.

6.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme referido no início do presente capítulo, assumem-se como principais objetivos: relacionar variações paramétricas e optar por soluções que se demonstrem mais eficazes para a melhoria do microclima urbano.

Terminado o estudo dos diferentes espaços públicos em análise, correspondentes à vila de Arouca, podem ser retiradas algumas relações, pois, de um modo geral, há tendências que se mantêm nos diferentes cenários.

A remoção da vegetação dos locais de estudo, à exceção da Praça Brandão de Vasconcelos, a qual foi devidamente fundamentada, resulta no aumento da temperatura do ar, devido ao maior número de superfícies expostas à radiação solar e à perda do contributo do processo de evapotranspiração. Ainda em relação à vegetação, demonstra-se o seu evidente contributo para atenuar a velocidade do vento; com a retirada desta (vegetação), verifica-se que o mesmo (vento) influencia outras variáveis microclimáticas em análise. Tais influências permitem estabelecer uma relação entre a quantidade e dimensão da vegetação e o espaço de análise; neste caso, para a “Alameda Dom Domingos de Pinho Brandão”, onde a quantidade e dimensão da vegetação é considerável em relação ao espaço, é evidente uma notável influência, já nos outros locais não é tão evidente.

Quanto ao aumento da volumetria dos edifícios, e tendo em conta a grandeza da operação efetuada (incremento de um piso) bem como a hora analisada (12 horas), apenas se verifica uma tendência na redução da velocidade do vento, comum a todos os cenários.

Em relação ao revestimento das fachadas, nos quais se analisam materiais com características meramente teóricas, de forma a elucidar as suas influências para o microclima, é possível comprovar que, de facto, materiais com reduzida capacidade de absorção se tornam benéficos para o clima. Verifica-se ainda que, quando aliados baixos valores de absorção e reflexão, como é o caso dos envidraçados, maior será o seu contributo para o conforto do espaço público, no entanto, significa que ocorre transmissão de calor para o interior dos edifícios, o que põe em causa o conforto interior dos mesmos, e esta ocorrência é de todo a evitar.

No que diz respeito aos pavimentos, estes apresentam um comportamento semelhante ao revestimento das fachadas, ou seja, quanto maior o valor de albedo e emissividade mais benéficos se tornam para o microclima. Os resultados demonstram que para materiais com o mesmo valor de albedo, pequenos aumentos nas suas características de emissividade contribuem de forma significativa quer na redução da temperatura média radiante, quer na diminuição da temperatura do ar. Já para mesmos valores de emissividade, materiais com valor de albedo superior não se mostram tão cooperantes na melhoria das condições térmicas, uma vez que refletem a radiação sobre eles incidente para outras superfícies, podendo estas comprometer os seus benefícios.

Acrescenta-se que, no seguimento do estudo, no qual se considera e fixa uma direção dos ventos (direção dos ventos predominantes) e sabendo que tal consideração se mostra bastante incerta, tendo em conta as características desta variável, torna-se imperativo estudar em que medida as variações deste parâmetro se relacionam com as restantes variáveis. Neste sentido, são feitas simulações para as três direções dominantes, onde é possível apurar o impacto que esta componente apresenta, quer no comportamento do próprio vento, quer nas implicações que causa noutras variáveis.

Por fim, apenas se demonstra uma potencialidade da utilização do programa na medida em que permite fazer o balanceamento das vantagens e desvantagens de uma possível estratégia a implementar, onde se constata, que naturalmente, a estratégia implementada não só reduz as temperaturas do ar para o verão como para o inverno.

7

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. CONCLUSÕES GERAIS

A pesquisa requerida neste estudo, surge no contexto da necessidade de adaptação do ambiente construído das áreas urbanas a possíveis impactos resultantes das alterações climáticas, nomeadamente o aumento da temperatura, que se torna desconfortável ao conforto térmico Humano, e visa contribuir para o conhecimento e demonstração de estratégias e métodos que se tornem benéficos para atenuar esses efeitos. Embora a presente dissertação recaia sobre um caso de estudo específico e tenha objetivos bem definidos, os resultados obtidos permitem apenas apontar algumas tendências e relações entre os parâmetros analisados.

De certa forma, este tema relaciona-se com determinados conceitos de arquitetura, no entanto, o seu principal interesse recai na área da engenharia civil, pois é uma mais valia adquirir conhecimento e sensibilidade quanto ao comportamento térmico dos materiais, adaptando-os ao meio envolvente e reduzindo o impacto das alterações climáticas nos mesmos. São também pertinentes os parâmetros e estratégias em análise, já que assumem um espírito crítico em possíveis situações futuras que surjam no percurso da vida profissional.

Recorrendo à Literatura e contextualizando, salienta-se que o clima, os mecanismos da troca de calor, as exigências humanas de conforto térmico e as características térmicas dos materiais são os princípios que regem o estudo e, apenas tendo estes conceitos presentes, é possível uma consciente intervenção no ambiente em causa, que permita aproveitar o que o clima apresenta de agradável (benéfico) e amenizar seus aspetos negativos.

O programa (Envi-met), centra-se, aqui, como uma vantajosa ferramenta, que permite garantir a ligação dos conceitos teóricos com o comportamento das variáveis, na prática, confirmado em estudos anteriores concretizados neste âmbito, e gerando resultados credíveis. Realça-se, ainda, que é este um processo de validação contínuo, ancorado na sequência de diversas etapas, e, de certa forma lento, no que diz respeito à metodologia e obtenção de resultados fiáveis.

Ainda em relação ao programa, constata-se que a utilização deste requer sensibilidade na análise dos resultados e uma capacidade de perceção de possíveis fenómenos que ocorram e determinam os resultados obtidos. Destaca-se o facto de, por vezes, ser necessário recorrer à análise de resultados para as diferentes horas do dia, bem como de diferentes variáveis, de forma a ser possível a correta interpretação dos resultados.

Acrescenta-se que, o potencial da metodologia proposta permite atingir os objetivos da análise, fornecendo a liberdade de intervenção nos cenários de estudo, de forma a aumentar o potencial de melhoria microclimática e diminuir os impactos ambientais decorrentes das alterações paramétricas, fornecendo e comprovando informações valiosas para orientar possíveis intervenções e estratégias, para ir ao encontro de microclimas termicamente mais equilibrados. Ao iniciar uma construção, é importante considerar os materiais que podem contribuir para conservar e melhorar o meio ambiente onde se inserem, salientando-se a ideia de que cada caso é um caso. Relativamente ao caso de estudo de Arouca, o desenvolvimento de cenários demonstra flexibilidade na metodologia, no que se refere à liberdade criativa design e requisitos específicos do projeto.

Assim, as simulações levadas a cabo, no âmbito da presente dissertação de mestrado, demonstram então, que o uso de materiais de alto albedo e emissividade, bem como a presença de vegetação em áreas urbanas, contribuem de forma direta para a melhoria do microclima. Em particular, os materiais de alto albedo levam a que superfícies expostas à radiação solar apresentem menores temperaturas, quando comparadas com materiais de baixo albedo e alta capacidade de absorção, sendo aplicável esta particularidade a materiais de revestimento de fachadas e a materiais de revestimento de piso (que determinam o clima do ambiente). Do mesmo modo, realça-se como a presença de vegetação se torna benéfica para o microclima e em que medida afetam o mesmo. Para todas as variáveis microclimáticas verifica-se que o resultado final da aplicação da metodologia na adaptação, leva a uma melhoria das condições oferecidas para o conforto térmico. As simulações permitem ainda, através da sensibilidade de análise, constatar que não é suficiente intervir de forma espontânea (sem conhecimento), pois, acima de qualquer estratégia, por muito benéfica que esta aparente vir a ser, há sempre a ter em consideração as características dos materiais existentes na envolvente, já que, caso contrário, a aplicação de materiais notoriamente benéficos, poderia resultar em melhorias insignificantes ou até mesmo em resultados negativos para o ambiente.

Conclui-se, assim, que a metodologia proposta é capaz de atingir os objetivos desta pesquisa, na medida em que permite, através do desenvolvimento de propostas de adaptação baseadas em materiais, vegetação e alterações morfológicas, orientar de forma simples e rápida as evidências nos resultados das variáveis, ajudando a tornar esse conhecimento mais operacional.

Como é possível verificar, as variações embora permitam apontar tendências, não permitem retirar conclusões lineares, pois embora seja efetuada a variação de apenas um parâmetro de simulação para simulação, estes estão sempre sob efeito de condicionantes, quer da morfologia do espaço urbano em si, quer da envolvente e das condições das restantes variáveis climáticas, ou seja, uma mesma variação paramétrica poderá resultar em alterações significativas para um espaço, enquanto que para outro poderá revelar-se insignificante (Não se verificam estes extremos no caso de estudo, apenas que umas variáveis se manifestam mais que outras).

Por fim, salientam-se como resultados desejáveis das intervenções: potenciar o aumento de áreas com sombra (e assim reduzir a temperatura do ar), aumentar a humidade relativa (desde que dentro de uma zona de conforto), reduzir as superfícies expostas à radiação solar direta, manter a velocidade do vento em níveis confortáveis e reduzir significativamente a temperatura média radiante, no sentido de assegurar o conforto térmico dos espaços públicos. No entanto, há que ter em consideração as diferentes estações do ano pelo que, deverão ser projetados espaços com zonas de sombra no verão e áreas suficientemente protegidas no inverno.

Infere-se que, a elaboração da presente dissertação permite compreender a evolução do clima urbano e, principalmente, o seu efeito no conforto térmico dentro dos espaços públicos de uma cidade. A metodologia proposta para a adaptação térmica de espaços públicos em áreas urbanas compactas com

base no programa, auxilia a melhoria de microclimas urbanos de forma simples e apresenta a capacidade de se tornar uma ferramenta útil, contribuindo na adaptação do ambiente construído aos impactos das mudanças climáticas e à consolidação da prática de design urbano bioclimático.

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Relativamente a recomendações para desenvolvimentos futuros, referem-se aspetos que podem ser aprofundados e novos caminhos que podem ser explorados neste âmbito. No que diz respeito à utilização do programa, poder-se-ia elaborar um estudo mais aprofundado na pormenorização e análise dos vários resultados fornecidos, iniciando o mesmo com experiência no manuseamento do programa.

Embora reconhecida a utilidade e atratividade da ferramenta utilizada (programa Envi-met), pesquisas futuras poderiam então, torná-la mais completa, mais simples e mais prática, enriquecendo a base de dados da mesma e validando a sua utilização em situações reais.

Um outro trabalho complementar ao presente, passaria pelo desenvolvimento de estudos direcionados a diferentes tipologias de espaços públicos, permitindo responder a novos problemas, incentivar novas investigações e definir estratégias de intervenção.

O valor deste modelo climático de microescala é evidente, no entanto, fazer o cruzamento de operações realizadas no mesmo com uma intervenção real a fim de constatar a concordância de resultados e monitorização das mesmas desde a fase de planeamento até que se atinjam os benefícios pretendidos, seria uma mais valia na consolidação da ferramenta, fornecendo-lhe reputação para que num futuro próximo pudesse ser incrementada como mecanismo de análise de alternativas para operações urbanísticas a realizar.

Nesta perspetiva, esta pesquisa apenas desencadeou o caminho para que novos e mais aprofundados estudos se realizem neste âmbito, pois contribuições para melhores práticas de adaptação dos espaços públicos tendo em vista a garantia do conforto térmico Humano, devem começar a ser atendidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAVV (2001). *A Green Vitruvius - Princípios e Práticas de Projecto para uma Arquitectura Sustentável*. Ordem dos Arquitectos, Lisboa.
- Addington, M. and Schodek, D. (2005). *Smart Materials and Technologies for the architecture and design professions*. Architectural Press, Oxford.
- Akbari, H., Pomerantz, M. and Taha, H. (2001). *Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas*. Solar Energy, 70(3): 295-310.
- Alexandri, E. (2005). *Investigations into Mitigating the Heat Island Effect through Green Roofs and Green Walls*. Dissertação de Doutoramento, Cardiff University.
- Ali-Toudert, F. and Mayer, H. (2007a). *Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate*. Building and Environment, 41(3): 94-108.
- Ali-Toudert, F. and Mayer, H. (2007b). *Thermal comfort in an east-west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions*. Theoretical and Applied Climatology, 87: 223-237.
- Allard, F. e Alvarez, S., Fundamentals of Natural Ventilation, in Allard, F. (ed.), (1998). *Natural Ventilation in Buildings*, James & James, London.
- Almeida, A.L., (2006). *O valor das árvores. Árvores e floresta urbana de Lisboa*. Lisboa.
- Almeida, Fernando J. (2009). *Paulo Freire. Folha Explica*, v. 81. São Paulo: Publifolha. 95.
- Arnfield, A. J. (2003). *Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island*. International Journal of Climatology, 23: 1-26.
- ASHRAE (2005). *ASHRAE Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta.
- ASHRAE (2010). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- Ayoade, J. (2001). *Introdução à climatologia para os trópicos* (7.^a ed). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Baldini, M., Tavares, A. (1985). *Conforto térmico em salas de aula e influência no aproveitamento escolar*. IN: Revista Geografia 10(19), pp.163-172. Rio Claro: IGCE.
- Brandão, P., Carrelo, M., Águas, S. (2002). *O chão da cidade. Guia de avaliação do design de espaço público*. Centro Português de Design, Lisboa.
- Bretz, S., Akbari, H. and Rosenfeld, A. (1998). *Practical Issues for Using Solar-Reflective Materials to Mitigate Urban Heat Islands*. Atmospheric Environment, 32(1): 95-101.
- Cortesão, J. (2013). *Thermal retrofitting of public spaces in compact urban areas*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cuadrat, J., Pita, M. (2009). *Climatología*. Ediciones Cátedra, Madrid.
- Dimoudi, A. and Nikolopoulou, M. (2003). *Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits*. Energy and Buildings, 35: 69-76.

- Elisavet, K. (2001). *Effects of vegetation on cooling urban environments - Special reference to Mediterranean cities*. Dissertação de Mestrado, University of Wales.
- Fanger, P. O. (1972). *Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill, New York.
- Ferreira, V., (2013). *Análise de conforto térmico em espaços públicos na cidade de Barcelos*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho. Escola de Engenharia.
- Frota, A., Schiffer, S. (2001). *Manual de Conforto Térmico*. Livraria Nobel S.A., São Paulo.
- Frota, Barros, A., Schiffer, Ramos, S. (2003). *Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo*. 7^{ed}, Studio Nobel, São Paulo.
- Gaitani, N., Mihalakakou, G. and Santamouris, M. (2007). *On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces*. Building and Environment, 42(1): 317-324.
- García, F. (1985). *Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Gehl, J. (2010). *Cities for people*. Island Press, Washington.
- Geiger, R. (1950). *The Climate Near the Ground*. Harvard University Press, Massachusetts.
- Giralt, R. (2006). *Conforto térmico em espaços públicos abertos na cidade de Torres*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Faculdade de Arquitetura. Dissertação de Mestrado.
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Gomez, F., Jabaloyes, J. and Vañó, E. (2004). *Green zones in the future of urban planning*. Journal of Urban Planning and Development, 130(2): 94-100.
- Gonçalves, H., Graça, J., (2004). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. DGGE/IP-3E, Lisboa.
- Gulyas, A., Unger, J. and Matzarakis, A. (2006). *Assessment of the microclimatic and human Comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements*. Building and Environment, 41(12): 1713-1722.
- Hegger, M., Auch-Schwelk, V., Fuchs, M. and Rosenkranz, T. (2006). *Construction Materials Manual*. Birkhäuser, Basel.
- Hertzberger, H. (2009). *Lessons for Students in Architecture*. 010 Publishers, Rotterdam.
- Higueras, E. (2006). *Urbanismo Bioclimático*. Editorial Gustavo Gili, SL., Barcelona.
- IPCC (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- ISO (2001). *BS EN ISO 7726:2001. Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*. International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO (2005). *ISO 7730. Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. International Organization for Standardization, Geneva.

- J. Cortesão, F. Brandão Alves, H. Corvacho and C. Rocha. (2016). *Retrofitting public spaces for thermal comfort and sustainability*. Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Porto, Portugal.
- Jones, B. (2001). *Capabilities and Limitations of Thermal Models*. Proceedings of the Windsor Conference, 5 a 8 de abril de 2001, Windsor.
- Krier, R. (1979). *Urban Space*. Academic Editions, London.
- Lamberts, R., Xavier, A. (2002). *Conforto térmico e stress térmico*. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.
- Lynch, K. (1981). *Good City Form*. The MIT Press, Massachusetts.
- Macaró L., Mascaró, J. (2002). *Vegetação Urbana*. Porto Alegre. 242.
- Marincic, J., Villa, O. (2006). *Designing Outdoor Spaces with Comfort-Ex*. International Workshop on Energy Performance and Environmental 1 - Quality of Buildings, Milos.
- Mascaró, L. & Mascaró, J. (1996). *Vegetação Urbana*. Porto Alegre: Sagra DC-Luzatto.
- Mendes, B., (2013). *Análise e Conforto Térmico em Praças*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho. Escola de Engenharia.
- Nikolopoulou, M., Ed. (2004). *Designing Open Spaces in the Urban Environment: A Bioclimatic Approach. RUROS: Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces*. Centre for Renewable Energy Sources CRES, Greece.
- Nikolopoulou, M., Ed. (2004). *Designing Open Spaces in the Urban Environment: A Bioclimatic Approach. RUROS: Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces*. Centre for Renewable Energy Sources CRES, Greece.
- Nikolopoulou, M., Lykoudis, S. (2006). *Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces: Analysis Across Different European Countries*. Building and Environment
- Oke, T. R. (1987). *Boundary Layer Climates*. Routledge, London.
- Oke, T. R., (1976). *The distance between canopy and boundary layer urban heat island*, Atmosphere.
- Oliveira Panão M., H. Gonçalves e P. Ferrão, *Indicadores do Desempenho Térmico de Edificações Urbanas*, Proceedings HB2006 Healthy Buildings, Lisboa, Portugal, 4-8 junho (2006).
- Peretti, G., Marino, D. and Montacchini, E. (2005). *Green Areas in Open Urban Spaces*. International Conference Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment. maio de 2005. Santorini.
- Plumley, H. J. (1977). *Design of Outdoor Urban Spaces for Thermal Comfort*. Proceedings of Conference on Metropolitan Physical Environment, 25 a 29 de agosto 1975, New York.
- Pomerantz, M., Akbari, H., Chen, A., Taha, H. and Rosenfeld, A. (1997). *Paving Materials for Heat Island Mitigation*. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley.
- Proceedings of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge, 27 a 29 de julho 2008. Network for Comfort and Energy Use in Buildings, London.
- Rivero, R. (1985). *Arquitetura e clima*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Romero, M. (2001). *Arquitetura Bioclimática do Espaço Público*. Editora UnB, Brasília.
- Romero, M. (2013) *Princípio Bioclimáticos para o Desenho Urbano*. CopyMarket.

- Rosenfeld, A., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B., Kurn, D., Sailor, D., Taha, H. (1995). *Mitigation of Urban Heat Islands - Materials, Utility Programs, Updates*. Energy and Buildings 22 (3), 255-265.
- Ruas, A. (1999). *Avaliação de conforto térmico: contribuição da aplicação prática das normas internacionais*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.
- Santamouris, M., Ed. (2001). *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. James & James, London.
- Sítio da Internet (<http://escolakids.uol.com.br/latitudes-e-longitudes.htm>). 30/05/2017.
- Sítio da Internet (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Arouca>).02/06/2017.
- Sítio da Internet (<https://www.colegioweb.com.br/geografia/localizacao-nos-hemisferios.html>). 02/06/2017.
- Sousa, R., Guilhermino, L., Antunes, C., (2005). *Molluscan fauna in the freshwater tidal area of the River Minho estuary, NW of Iberian Peninsula*. Annales de Limnologie – International Journal of Limnology 41, 141–147
- Souza, S. (2010). *Avaliação do Desempenho Térmico nos microclimas das praças: Piedade e Visconde de Cayrú*. Salvador: Universidade Federal da Bahia - Escola Politécnica. Dissertação de Mestrado.
- Spagnolo, J., de Dear, R. (2003). *A Field Study of Thermal Comfort in Outdoor and Semi-Outdoor Environments in Subtropical Sydney Australia*. Building and Environment (5), 721.
- Stack, A., Goulding, J. and Lewis, J. (2001). *Shading Systems. Solar Shading for the European climates*. U. C. D. Energy Research Group. ENERGIE program, Dublin.
- Swaid, H., Barel, M., Hoffman, M. (1993). *A Bioclimatic Design Methodology for Urban Outdoor Spaces*. Theoretical and Applied Climatology 48 (1), 49-61.
- Taylor, B., Guthrie, P. (2008). *The First Line of Defence: Passive Design at an Urban Scale*.
- Taylor, D. (2008). *Adapting Public Space to Climate Change*. Commission for Architecture and the Built Environment, London.
- Tojo, J. F. (2007). *La Ciudad y el Medio Natural*. Akal, Madrid.
- Tunstall, G. (2006). *Managing the Building Design Process*. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Wilson, E., Nicol, F., Nanayakkara, L., Ueberiahn-Tritta, A. (2008). *Public Urban Open Space and Human Thermal Comfort: The Implications of Alternative Climate Change and Socio economic Scenarios*. Journal of Environmental Policy & Planning

ANEXO A1 – ROSA DOS VENTOS – AROUCA

FREQUÊNCIA E VELOCIDADE DO VENTO

Rosa dos ventos – Arouca

2014-2016

Latitude: 40.9269º, Longitude: -8.2611º, Altitude: 270m

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
Frequência (%) e respetiva velocidade média (km/h)													
NORTE (N)													
%	5.2	5.2	6.9	7.9	8.0	10.1	8.6	6.1	4.7	4.2	5.6	4.9	6.5
km/h	2.6	3.5	4.8	4.6	4.8	5.0	5.1	4.5	3.2	2.5	2.2	2.0	4.0
NORDESTE (NE)													
%	11.5	8.6	11.0	9.1	11.2	10.2	12.2	12.4	12.6	9.7	12.3	11.4	11.0
km/h	2.5	3.6	3.0	2.2	3.7	2.0	2.2	1.6	1.6	1.9	2.0	2.6	2.4
ESTE (E)													
%	14.5	13.9	20.0	17.4	18.6	12.8	12.0	10.1	9.9	18.7	18.3	22.4	15.7
km/h	5.0	6.4	7.2	6.0	6.9	5.2	5.3	5.0	3.7	6.3	7.2	8.1	6.3
SUDESTE (SE)													
%	3.7	3.4	4.8	4.6	4.8	2.7	2.3	2.1	3.0	6.4	4.2	6.3	4.0
km/h	4.1	4.9	5.3	5.3	5.7	4.2	4.0	3.8	4.0	5.7	4.8	6.1	5.1
SUL (S)													
%	2.9	1.8	2.3	3.1	3.2	1.6	1.4	1.7	2.7	2.8	2.1	5.2	2.5
km/h	7.3	6.3	5.2	7.4	6.9	5.3	2.7	2.7	5.9	6.9	4.2	9.4	6.4
SUDOESTE (SW)													
%	7.2	5.8	5.4	7.7	6.2	6.6	5.7	7.0	8.9	9.1	6.3	10.0	7.1
km/h	6.6	9.4	4.2	7.8	6.7	4.6	3.8	3.6	5.3	6.9	4.7	6.1	5.9
OESTE (W)													
%	31.2	36.8	23.8	24.9	22.6	24.7	24.3	25.8	25.5	20.7	19.8	17.0	24.8
km/h	9.9	9.4	7.8	7.4	6.6	6.2	6.5	6.4	6.7	6.4	5.6	3.9	7.2
NOROESTE (NW)													
%	12.8	17.6	15.3	15.3	16.7	19.6	20.4	18.5	13.5	9.5	10.8	8.3	14.9
km/h	4.5	5.4	5.5	5.1	5.8	5.6	5.8	5.9	5.1	3.6	3.7	2.8	5.2
Calma													
%	11.0	6.9	10.6	10.1	8.6	11.7	13.1	16.5	19.2	18.9	20.6	14.6	13.5

